



Progetto S3 – Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico

Responsabili: Francesca Pacor (INGV-MI) e Marco Mucciarelli (Unibas)

TASK 4 – GARDA - DELIVERABLES D14-D15

STIMA DEGLI EFFETTI DI SITO

A cura di

UR1 – *P. Augliera, V. Pessina, L. Luzi, S. Lovati, S. Marzorati, M. Massa, E. D'Alema, D. Di Giacomo*

UR4 – *Mulargia F., Castellaro S.*

Luglio 2007

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. MISURE DI MICROTREMORE NEI COMUNI INTERESSATI DALL'EVENTO DEL 24 NOVEMBRE 2004	4
2.1 MISURE IN VAL SABBIA	5
2.2 MISURE A GARDONE E TOSCOLANO MADERNO.....	14
3. CLASSIFICAZIONE ED EFFETTI DI SITO.....	18
3.1 LIVELLO 0: CLASSIFICAZIONE GEOLOGICA	18
3.2 LIVELLO 1: CLASSIFICAZIONE SITI.....	22
4. GIS.....	24
BIBLIOGRAFIA.....	27
APPENDICE A: MISURE DI RUMORE AMBIENTALE IN EDIFICIO E FREE FIELD.....	28

1. INTRODUZIONE

Nell'area del Garda, gli effetti di sito sono stati valutati in modo speditivo, utilizzando le informazioni geologiche e geomorfologiche di superficie insieme a misure di rumore ambientale. Dove possibile, sono stati utilizzati anche dati e informazioni disponibili dagli studi di rischio sismico della Regione Lombardia-CNR (1996).

Le misure di rumore sono state effettuate nei quattro comuni prescelti: Vobarno, Salò, Toscolano Maderno e Gardone Riviera. Inoltre è stata condotta una campagna di misure lungo la Val Sabbia, dove sono stati rilevati i maggiori danni (Figura 1.1).

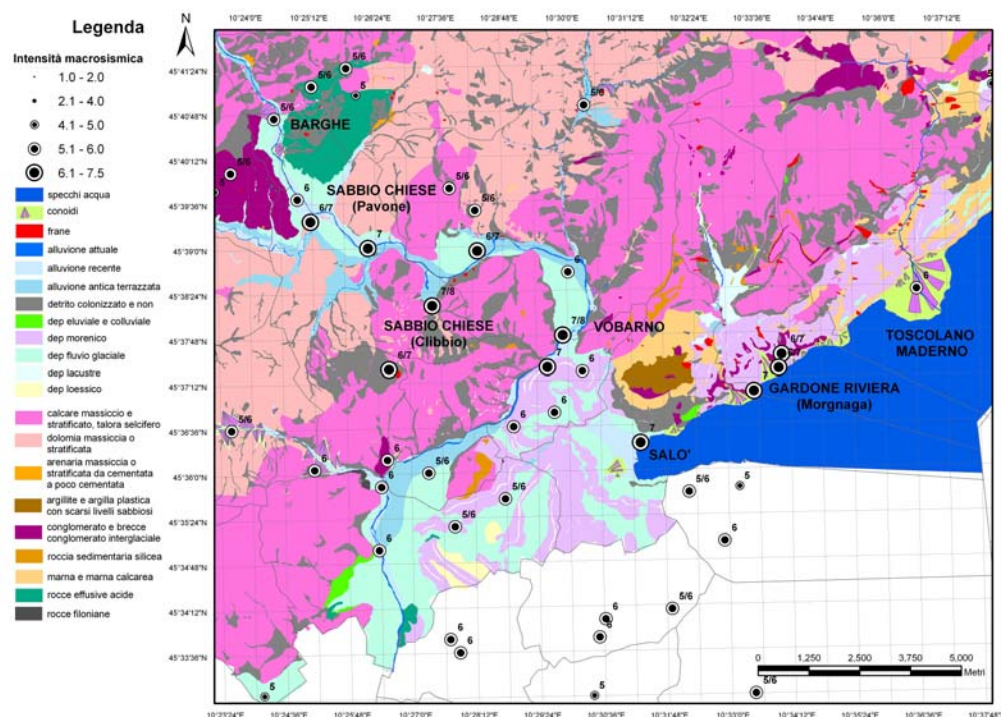


Figura 1.1 Posizione delle località indagate in questo studio, con riportata la carta geologica 1:10.000 fornita dalla Regione Lombardia e i dati di intensità macrosimica dell'evento del 24 Novembre 2004

Nel comune di Gardone Riviera è stata selezionata un'area rappresentativa dell'intero versante che va da questo comune fino a Gargnano, caratterizzato da depositi eluviali sovrastanti calcari stratificati. Come area rappresentativa dei conoidi detritici, presenti in vari comuni del lago, depositi lungo il fronte del sovrascorrimento e immergenti nel lago di Garda, è stato selezionato l'abitato di Toscolano Maderno. L'area di Vobarno si trova su depositi alluvionali recenti e terrazzati del fiume Chiese, mentre Salò è ubicatosu depositi morenici di spessore significativo (massimo un centinaio di metri) su cui poggiano depositi alluvionali recenti.

Lo scopo di questo studio è la classificazione dei suoli secondo la normativa italiana (Ordinanza PCM 3274; 2003 e Norme tecniche per le costruzioni; D.M. 14/09/05) attraverso l'utilizzo congiunto delle informazioni geologiche e della frequenza di risonanza dei depositi, calcolata attraverso i rapporti spettrali della componente orizzontale e verticale del rumore ambientale.

Inoltre si è verificato se esistesse una correlazione fra dati di intensità risentita durante l'evento del 24 Novembre 2004 e le condizioni di sito, individuate utlizzando informazioni geologiche.

2. MISURE DI MICROTREMORE NEI COMUNI INTERESSATI DALL'EVENTO DEL 24 NOVEMBRE 2004

A cura di UR1-Augliera, Marzorati, Massa, Lovati, D'Alema, Di Giacomo

Le campagne di misure di rumore in Val Sabbia (BS) sono state precedute da una serie di studi preliminari (analisi carte topografiche, foto aeree e mappe geologiche, test procedure di analisi).

Una prima campagna di misure ha riguardato 4 località (Barghe, Sabbio Chiese, Vobarno e Salò) selezionando 27 siti per l'effettuazione delle misure. Per la scelta delle località, oltre alle caratteristiche litologiche, sono stati considerati sia gli effetti rilevati dall'indagine macrosismica che le indicazioni dei danneggiamenti degli edifici nei singoli comuni interessati.

Un esempio delle indicazioni preliminari sui danni (fornite da UR4) e le intensità macrosismiche osservate, disponibili per la scelta e la selezione del sito per le misure di microtremore, è riportato in figura 2.1.

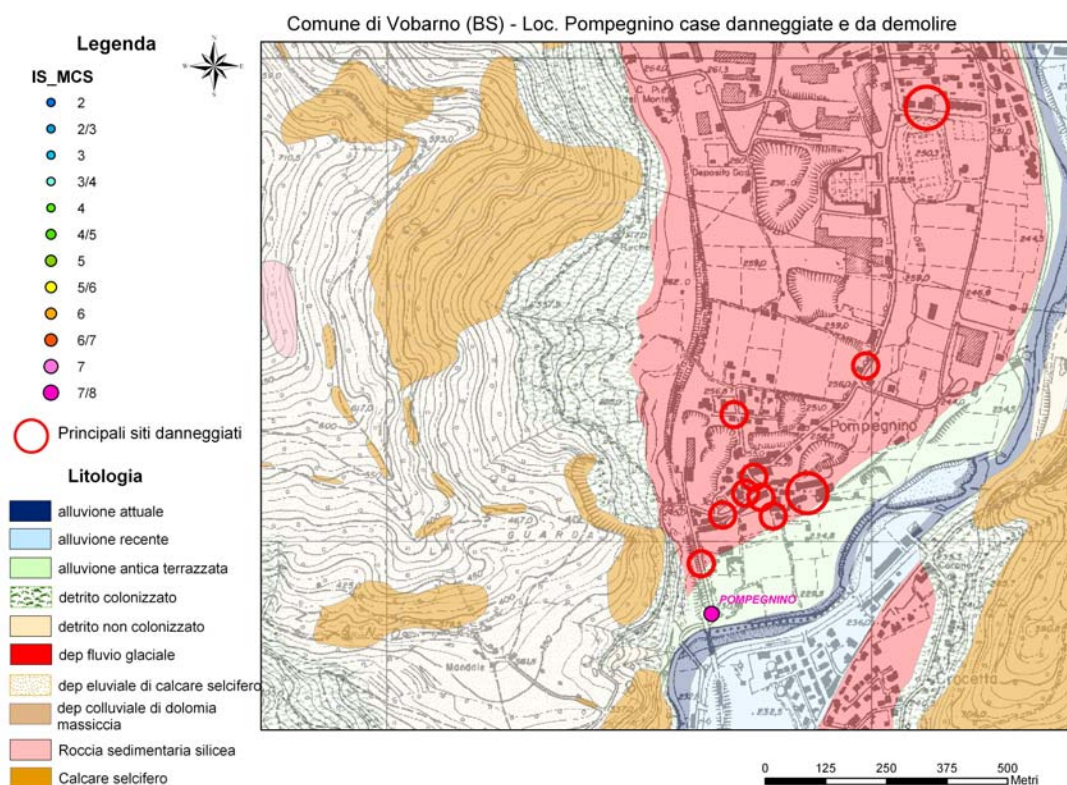


Figura 2.1 Località Pompegnino: ubicazione delle case che hanno subito danni durante l'evento del 24 Novembre 2004, riportate su carta geologica 1:10000 fornita dalla Regione Lombardia. Il punto viola rappresenta il valore di intensità macrosismica risentita.

Una seconda campagna di misure ha riguardato i comuni di Gardone e Toscolano Maderno. Nel caso di Gardone la scelta dei siti è stata guidata dalle caratteristiche litologiche e di inclinazione dei pendii, mentre per Toscolano Maderno è stata indagata l'area della conoide di detrito.

La Figura 2.2 indica le località dove sono state condotte le campagne di misura.

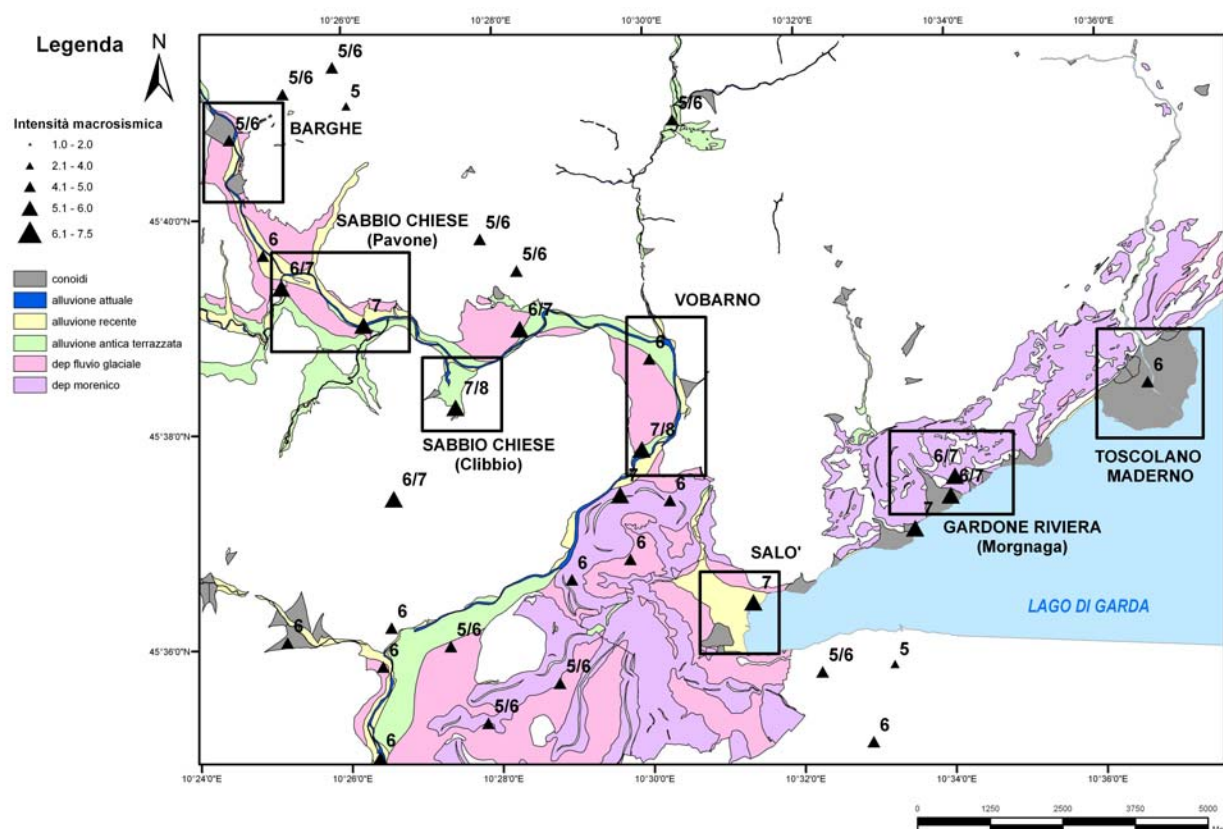


Figura 2.2 Località in cui sono state effettuate le campagne di misura. I riquadri neri indicano per ogni località, l'estensione dell'area di indagine. I numeri sono relativi al piano quotato indicante il grado di danneggiamento agli edifici.

2.1 MISURE IN VAL SABBIA

In questa sezione sono descritte le misure effettuate in Val Sabbia (provincia di Brescia) nelle località di Barghe, Sabbio Chiese, Vobarno e Salò (Figura 2.1.1).

La campagna di misure è stata effettuata usando sensori Lennartz LE3D-5sec (risposta piatta tra 0.2 e 40 Hz) equipaggiati con acquisitori a 24 bit Reftek 130-01.

Il sistema di sincronizzazione temporale utilizza un segnale GPS e le procedure di acquisizione sono impostate tramite un palmare. Per l'alimentazione del sistema è sufficiente una batteria esterna 12V. La strumentazione, di ridotte dimensioni ed ingombro, può venire così gestita da un singolo operatore.

Le misure sono state effettuate in 27 differenti siti selezionati in modo da combinare l'interesse relativo sia alle zone per le quali erano disponibili informazioni sul danno sia alla necessità di caratterizzare siti con differenti unità litologiche.

Per ogni punto di misura sono stati registrati 30 minuti di segnale (noise ambientale) ad una frequenza di campionamento di 100 Hz.

Sulle serie temporali registrate è stata effettuata una prima analisi visuale in modo da eliminare eventuali disturbi.

L'analisi dei dati per determinare l'HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) è stata effettuata con le seguenti procedure:

- i dati sono stati filtrati tra 0.2 e 25 Hz, utilizzando un filtro Butterworth a 4 poli, dopo aver rimosso valor medio e trend lineare;
- per ogni componente del segnale sono state analizzate finestre adiacenti dalla durata di 60 secondi ognuna (con finestra di cosine tapering del 5%);
- lo spettro (tramite FFT) di ogni finestra temporale è stato lisciato utilizzando la funzione di Konno e Ohmachi con $b=20$ (Konno and Ohmachi, 1998).

Per ogni finestra temporale è stato calcolato il rapporto spettrale a partire dagli spettri medi delle componenti orizzontali (RMS delle componenti Nord-Sud ed Est-Ovest) rispetto alla verticale. Mediando i valori risultanti per ogni singola finestra sono infine stati ottenuti i valori medi e le rispettive deviazioni standard su ogni singolo sito.

Risultati delle misure di microtremore

In questa sezione vengono descritti i risultati delle misure di microtremore, visualizzati dalla Fig.2.1.1 alla Fig.2.1.5. In Tabella 2.1.1 è presente una descrizione sintetica dei punti di misura.

Barghe

Tra le località investigate quella di Barghe è la meno danneggiata ($I=V-VI$ MCS). L'area urbana è principalmente sviluppata lungo il corso del fiume Chiese ed è caratterizzata da differenti livelli di deposito fluviale. Eccetto il sito GN05, che non mostra particolari amplificazioni, tutte le altre misure indicano effetti di sito non del tutto trascurabili (Fig. 2.1.1).

Sabbio Chiese

Il paese di Sabbio Chiese ha subito una intensità MCS tra il VI-VII ed il VII grado, valutato alla località Pavone.

L'area urbana giace prevalentemente su depositi alluvionali e fluvio-glaciali.

Le misure GN07 (deposito alluvionale recente) e GN09 (depositi fluvio-glaciali a Pavone) sono state effettuate nei pressi di edifici danneggiati. A GN07 si nota solo un debole picco intorno a 9 Hz, GN09 mostra un picco più marcato intorno a 5 Hz. GN08, sui medesimi litotipi di GN09, non mostra alcuna amplificazione. Le misure GN00 e GN10, su affioramenti rocciosi in posto, non mostrano amplificazione (Figura 2.1.2)

Sabbio Chiese (Clibbio)

L'area di Clibbio è stata interessata anche da fenomeni franosi. Le misure sono state eseguite in zone non interessate da tali fenomenologie.

L'area di Clibbio è caratterizzata da affioramenti di rocce calcaree (GN14).

Il sito GN13 mostra un picco significativo a 2.6 Hz in corrispondenza di antichi terrazzi fluviali. Una situazione interessante si presenta per il sito GN12, caratterizzato da moderata amplificazione tra 0.5 e 0.9 Hz, dovuta probabilmente al contrasto di impedenza tra l'affioramento di deposito eluviale ed il bedrock sottostante. Negli altri punti di misura non sono state osservate significative amplificazioni (Figura 2.1.3)

Vobarno

Vobarno è uno dei siti maggiormente danneggiati. L'intensità MCS varia tra VI e VII-VIII alla località Pompegnino.

Il paese insiste su depositi fluvio-glaciali ed antichi terrazzi alluvionali.

Ogni misura è stata effettuata nei pressi di costruzioni con evidenti livelli di danneggiamento. In tutte le misure sono stati riscontrati picchi significativi su diverse frequenze. Ad esempio sui depositi fluvio-glaciali tra 2 e 3 Hz (GN16 e GN17 nei pressi della Chiesa di Pompegnino, fortemente danneggiata dal terremoto; GN18 e GN19). Al sito GN20 (antico terrazzo alluvionale) la frequenza di picco è 6.8 Hz. Al sito GN18 il picco riscontrato a 1.7 Hz potrebbe essere di origine antropica (Figura 2.1.4)

Salò

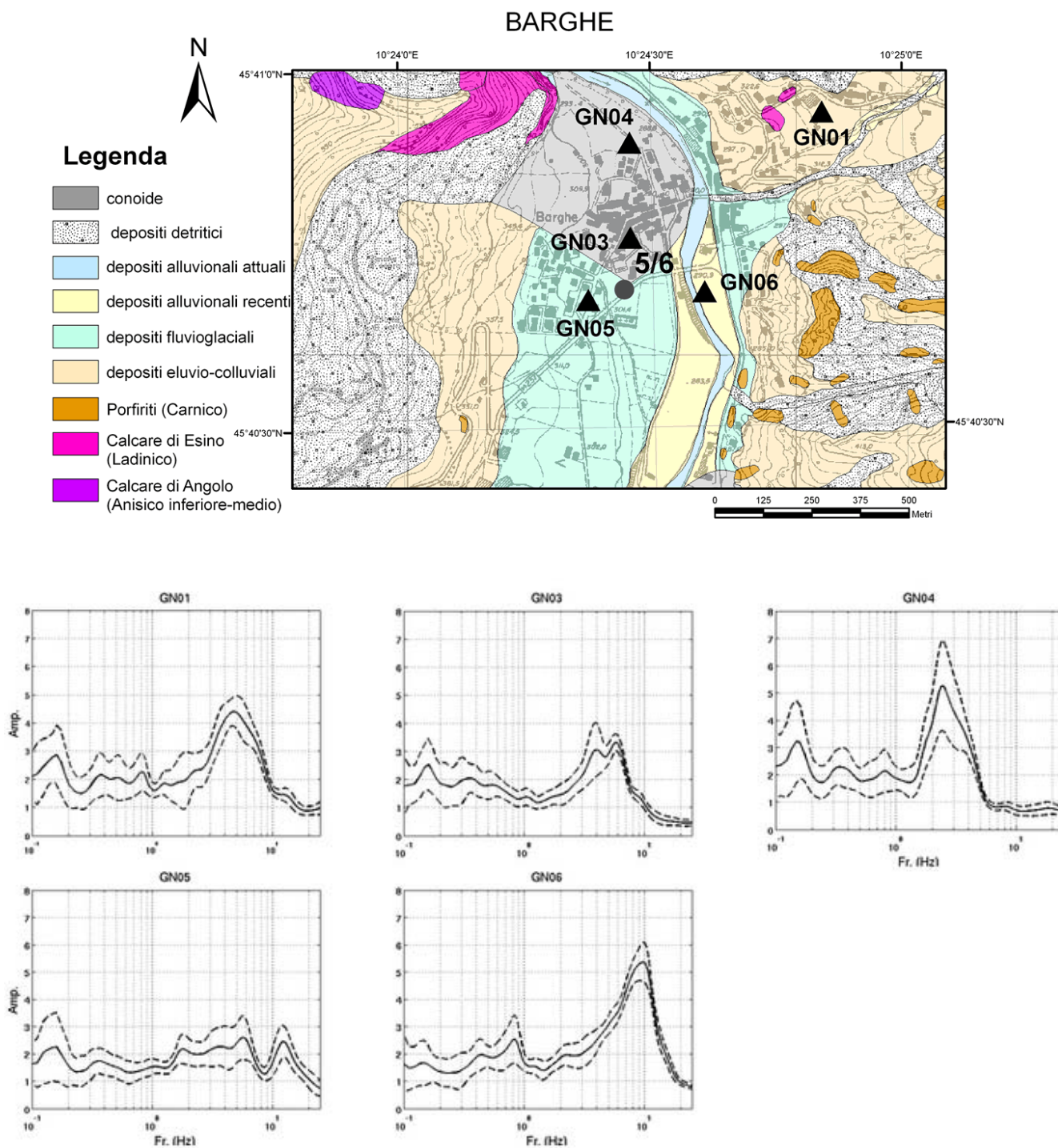
Salò è il centro più popolato dell'area in esame ed ha registrato effetti massimi pari a VII MCS.

L'area urbana è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali recenti e fluvio-glaciali.

Contrariamente a quanto atteso, non sono stati riscontrate amplificazioni particolarmente significative. I siti GN22 e GN23, accanto a edifici fortemente danneggiati fondati su depositi fluvio-glaciali, mostrano una debole amplificazione tra 3 e 5 Hz. Il sito GN24 mostra una amplificazione più marcata a 2 Hz ma GN25 e GN26, anch'essi su depositi alluvionali recenti e vicino a costruzioni danneggiate, non mostrano picchi significativi (Figura 2.1.5)

Tabella 2.1.1: Descrizione punti di misura e caratteristiche HVSR

Codice Sito	Località	Litologia	HVSR: principali caratteristiche	Osservazioni danneggiamento
GN01	Barghe	Detrito eluvio colluviale (calcareo)	Moderata amplificazione intorno 4.6 Hz	
GN03	Barghe	Conoide	Moderata amplificazione tra 4 e 6 Hz	Nei pressi di edifici danneggiati
GN04	Barghe	Conoide	Picco a 2.5 Hz	
GN05	Barghe	Deposito fluvio-glaciale	Leggera amplificazione a 5.5 e 11.7 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN06	Barghe	Deposito alluvionale recente	Picco a 9.5 Hz	
GN00	Sabbio Chiese	Dolomia massiccia	Circa piatto	
GN07	Sabbio Chiese	Deposito alluvionale recente	Picco debole a 8.4 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN08	Sabbio Chiese	Deposito fluvio-glaciale	Circa piatto	
GN09	Sabbio Chiese (Pavone)	Deposito fluvio-glaciale	Picco a 5.2 Hz	Nei pressi di edificio danneggiato
GN10	Sabbio Chiese	Dolomia massiccia	Circa piatto	
GN11	Sabbio Chiese (Clibbio)	Conoide	Lievi amplificazioni su diverse frequenze	
GN12	Sabbio Chiese (Clibbio)	Eluvium di rocce calcaree	Moderata amplificazione tra 0.5-0.9 Hz	
GN13	Sabbio Chiese (Clibbio)	Antico terrazzo fluviale	Picco a 2.6 Hz. Altro più moderato a 1.5 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN14	Sabbio Chiese (Clibbio)	Dolomia (lievemente alterata)	Circa piatto	
GN15	Vobarno	Debris	Moderata amplificazione tra 3.8-5.6 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN16	Vobarno (Pompegnino)	Deposito fluvio-glaciale	Moderata amplificazione a 2.6 Hz	Di fronte ingresso chiesa danneggiata
GN17	Vobarno (Pompegnino)	Deposito fluvio-glaciale	Moderata amplificazione a 2.6 Hz	Lungo navata destra chiesa danneggiata
GN18	Vobarno	Deposito fluvio-glaciale	Moderata amplificazione a 1.7	Vicino ad edificio danneggiato
GN19	Vobarno	Deposito fluvio-glaciale	Moderata amplificazione a 2.6 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN20	Vobarno	Antico terrazzo alluviale	Picco a 6.8 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
VOBA	Vobarno	Antico terrazzo alluviale	Picco a 5.5 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN21	Vobarno (Collio)	Conoide	Picco a 4.1 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN22	Salò	Deposito fluvio-glaciale	Moderata amplificazione tra 4 e 5 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN23	Salò	Deposito fluvio-glaciale	Lieve amplificazione tra 3 e 5 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN24	Salò	Deposito alluvionale recente	Debole picco a 2 Hz	Vicino ad edificio danneggiato
GN25	Salò	Deposito alluvionale recente	Circa piatto	
GN26	Salò	Deposito alluvionale recente	Nessuna evidenza di amplificazione	
GN27	Salò	Conoide	Debole picco a 2.1 Hz	



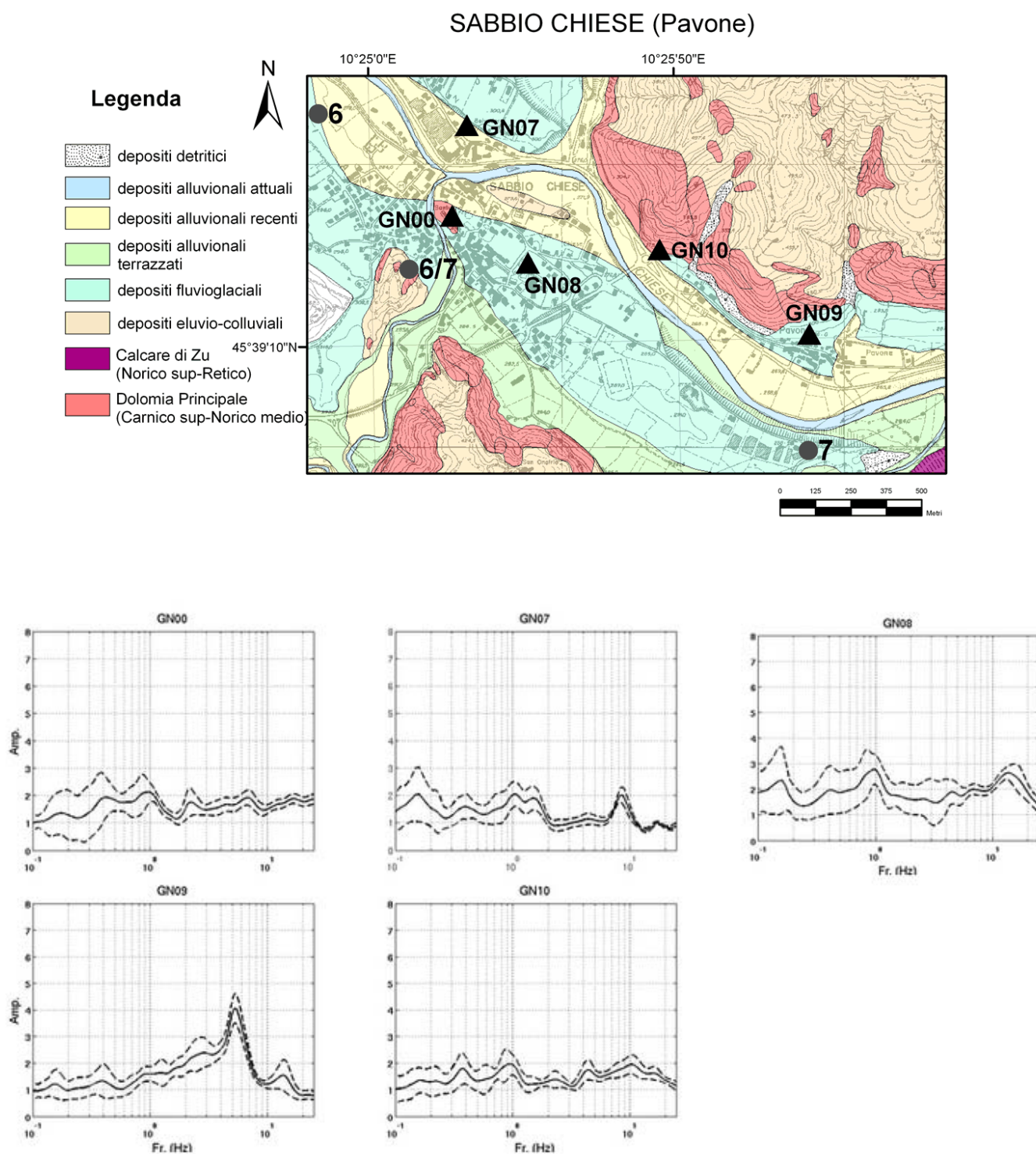


Figura 2.1.2 Mappatura delle misure effettuate sul territorio del Comune di Sabbio Chiese (in alto) e relative curve H/V (media \pm dev. st.; in basso).

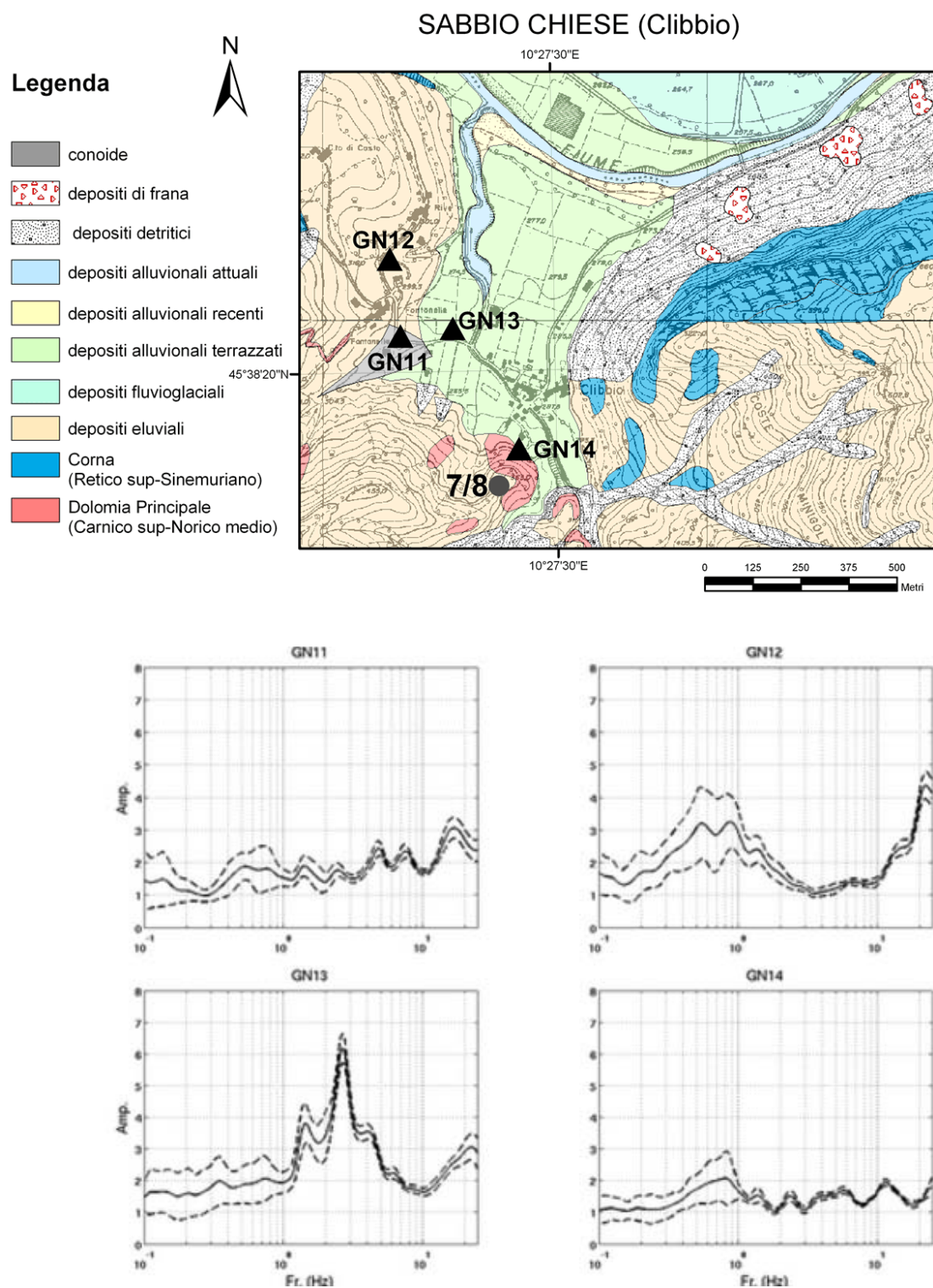


Figura 2.1.3 Mappatura delle misure effettuate sul territorio del Comune di Sabbio Chiese , località Clibbio, (in alto) e relative curve H/V (media \pm dev. st.; in basso).

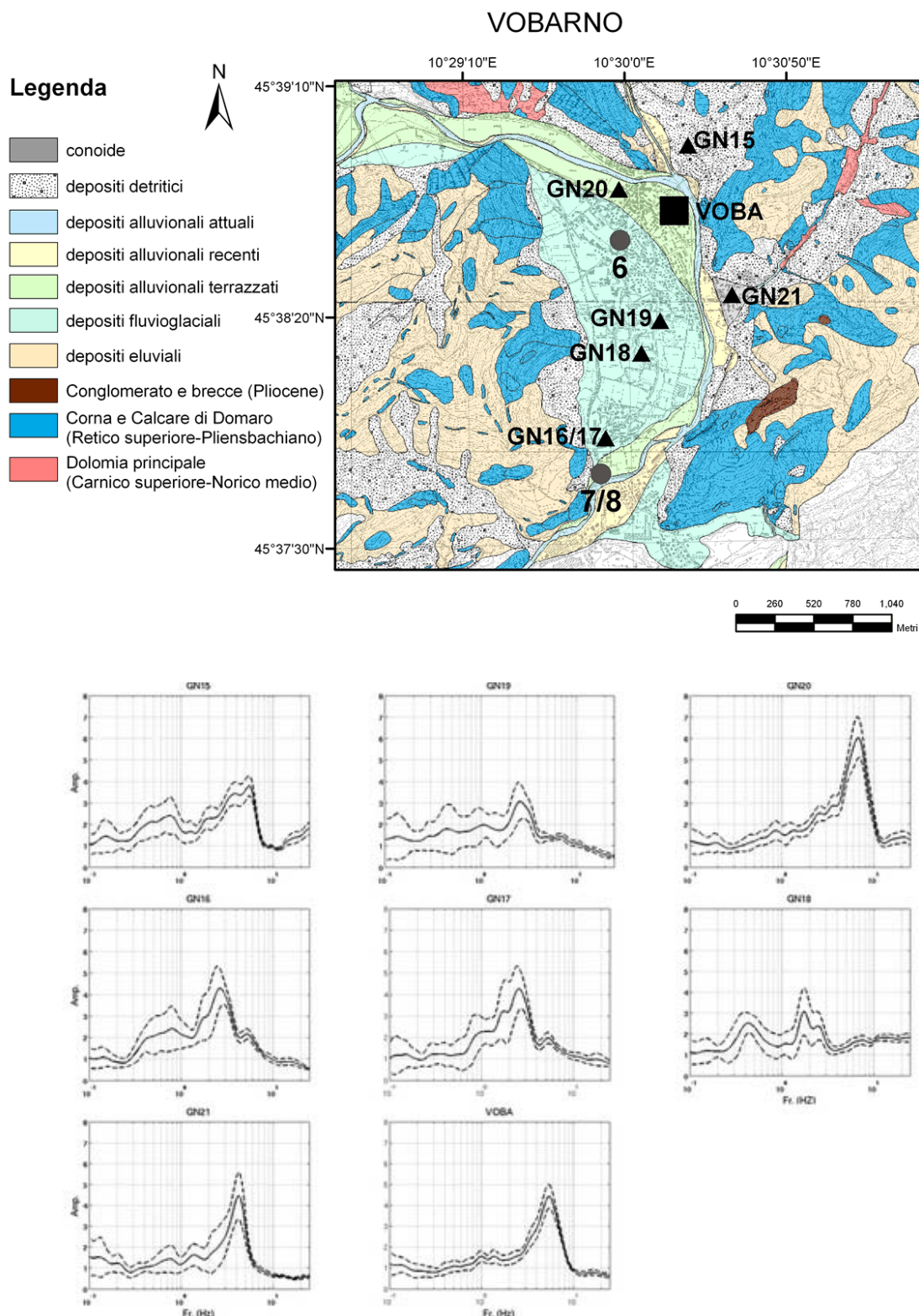


Figura 2.1.4 Mappatura delle misure effettuate sul territorio del Comune di Vobarno (in alto) e relative curve H/V (media \pm dev. st.; in basso).

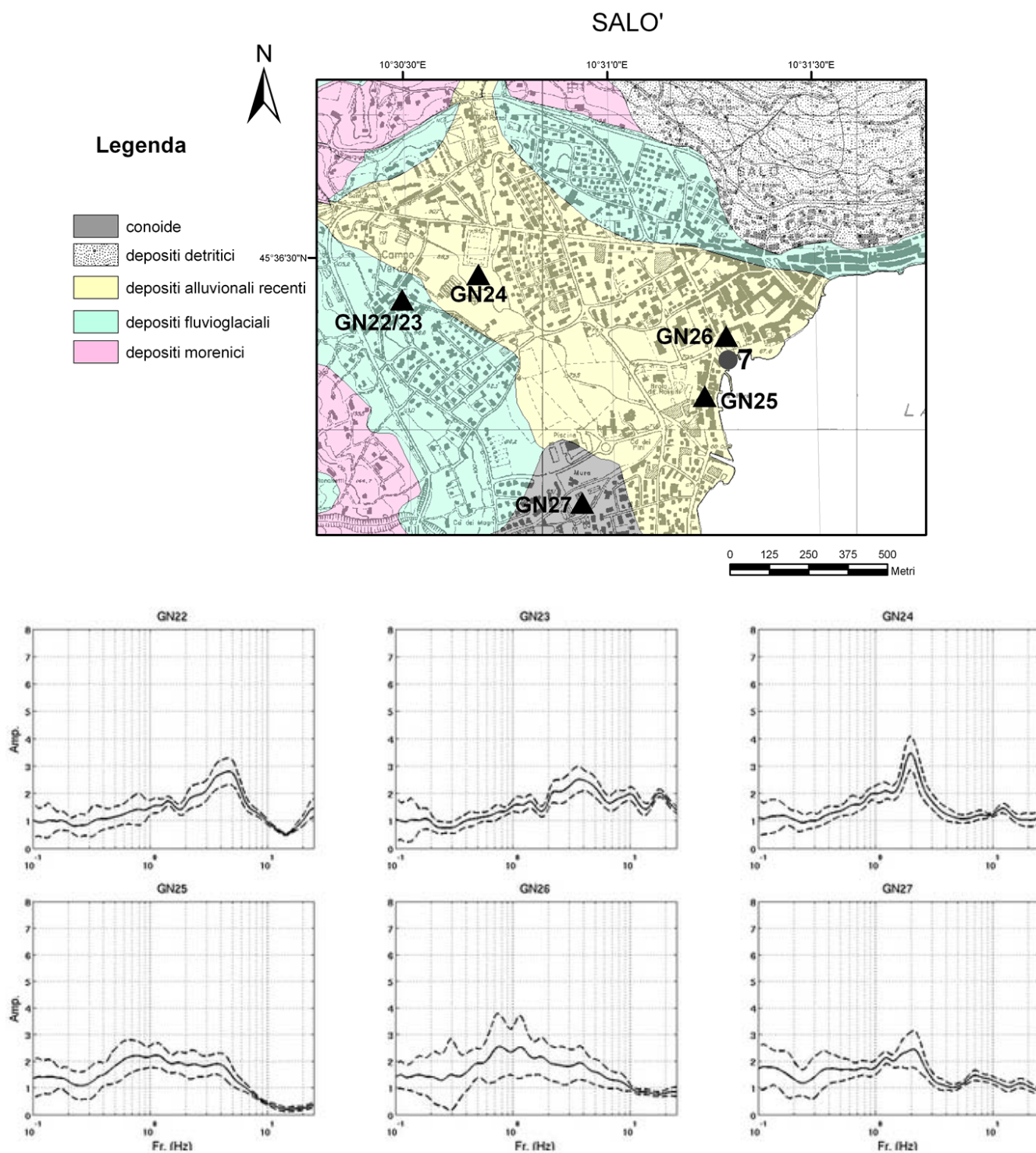


Figura 2.1.5 Mappatura delle misure effettuate sul territorio del Comune di Salò (in alto) e relative curve H/V (media \pm dev. st.; in basso).

2.2 MISURE A GARDONE E TOSCOLANO MADERNO

In questa sezione vengono descritte le campagne di misura di microtremore effettuate nei Comuni di Gardone Riviera e Toscolano Maderno.

L'analisi delle misure di microtremore e il calcolo dei rapporti spettrali H/V sono stati eseguiti seguendo le procedure ed utilizzando i parametri descritti nel paragrafo precedente (2.1).

Gardone Riviera

La campagna eseguita sul territorio del Comune di Gardone Riviera si è estesa dalla frazione Morgnaga fino ad avvicinarsi al bordo del lago di Garda, seguendo approssimativamente la pendenza dei rilievi (Fig. 2.2.1). Sono state effettuate 8 misure.

In Fig. 2.2.1 sono visualizzati i punti di misura effettuati nel Comune di Gardone Riviera, mentre in Fig. 2.2.2 vengono mostrati i risultati dei rapporti spettrali H/V. Con la sola eccezione della misura MOR1, i punti sono approssimativamente allineati lungo una linea che parte al di sopra della frazione di Morgnaga e finisce quasi in riva al lago di Garda, attraversando la parte occidentale dell'abitato di Gardone.

Le curve dei rapporti H/V non mostrano chiari picchi di amplificazione, ma bande di amplificazione contenuta, dovute probabilmente alla coltre di detrito morenico poco profonda. Procedendo dalla parte superiore del versante a quella inferiore, in generale, non si notano differenze significative nei rapporti spettrali, nonostante i punti di misura siano ubicati in posizioni a differente pendenza. Le amplificazioni, già ridotte, si attenuano leggermente per le misure effettuate nella parte inferiore del versante che si approssima al lago, in cui si ottengono curve praticamente senza amplificazioni (da MOR5 a MOR8).

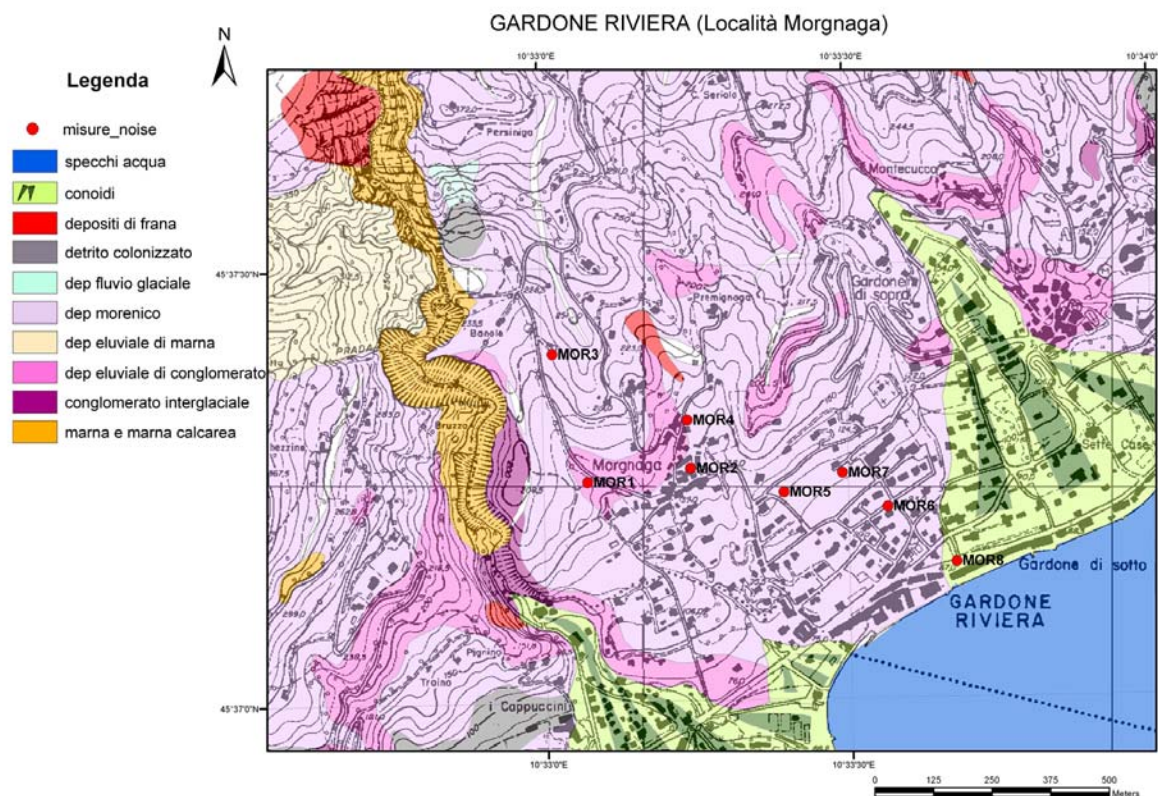


Figura 2.2.1 Mappatura dei punti di misura effettuati sul territorio del Comune di Riviera Gardone

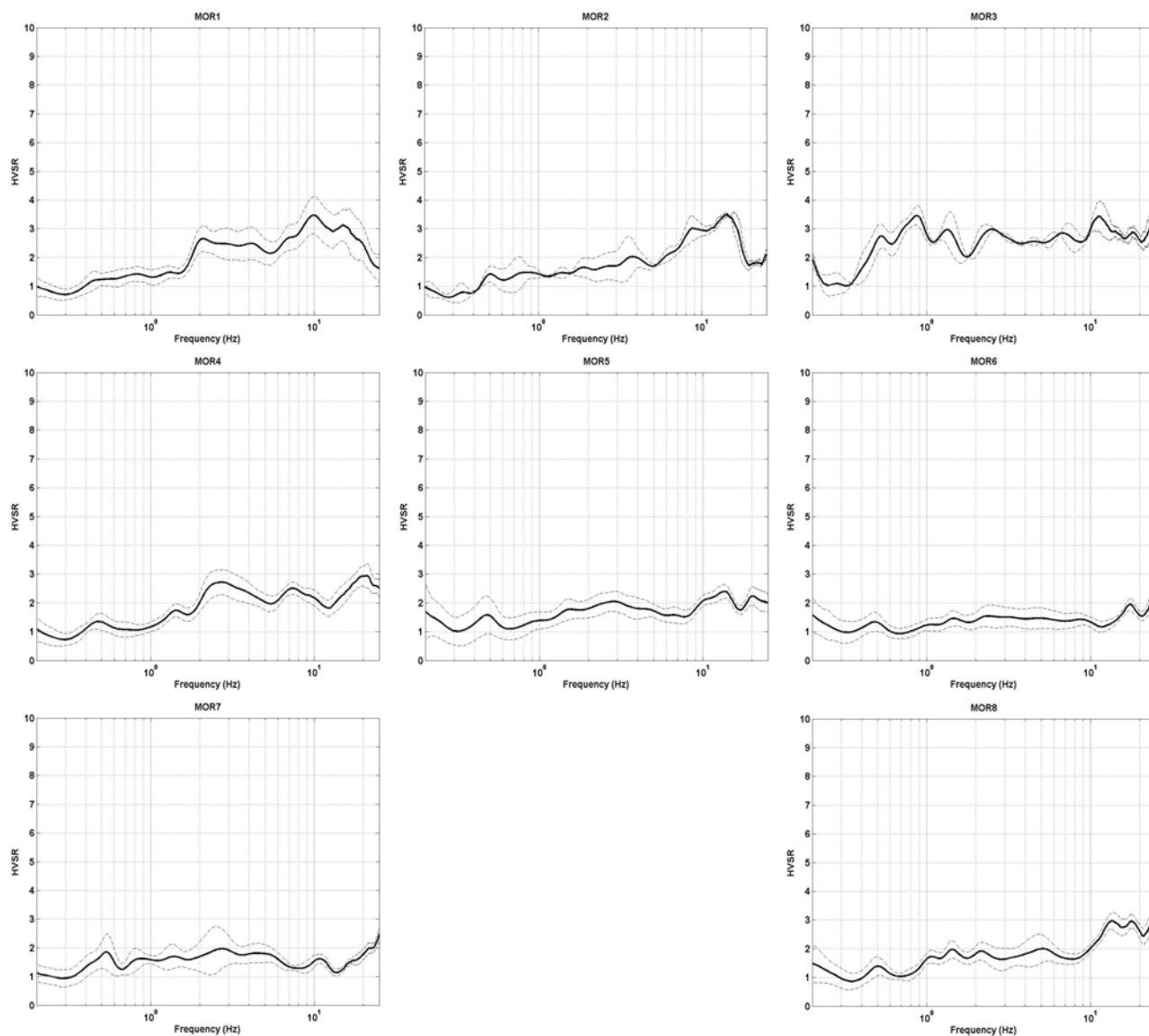


Fig.2.2.2 Curve H/V (media \pm dev. st.) relative alle misure di Fig.2.2.1.

Toscolano Maderno

La campagna eseguita sul territorio del Comune di Toscolano Maderno ha investito l'area del conoide di detrito, la cui parte emersa si protende nel lago di Garda per varie centinaia di metri. In questa zona sono state effettuate 12 misure.

In Fig. 2.2.3 sono visualizzati i punti di misura effettuati nel Comune di Toscolano Maderno, mentre in Fig. 2.2.4 vengono mostrati i risultati dei rapporti spettrali H/V. Le 12 misure sono state acquisite posizionandosi in uno schema a ventaglio per seguire la morfologia del conoide alluvionale. La misura TM03 è stata effettuata al di fuori del conoide, su substrato roccioso, mentre la misura TM01 è posizionata al contatto tra il bordo del conoide e il substrato. I risultati dei rapporti spettrali H/V mostrano delle curve prive di amplificazione per le due misure TM01 e TM03, con leggere amplificazioni solo in alta frequenza probabilmente dovute all'alterazione degli strati superficiali del substrato. Anche la misura TM02 non presenta picchi di amplificazione, trovandosi ancora relativamente vicina al bordo del conoide verso l'affioramento del substrato. Le misure ad ovest del fiume, TM06, TM04 e TM05, le quali seguono una linea che taglia longitudinalmente il conoide, presentano picchi di amplificazione al di sotto di 1 Hz (0.60 e 0.65 Hz). La misura TM07, al bordo costiero occidentale del conoide, presenta un picco a circa 0.82 Hz.

Le misure effettuate nella parte ad est del fiume presentano picchi di amplificazione al di sopra di 1 Hz. In particolare le misure TM08 e TM09 mostrano un picco H/V a circa 3.8 Hz, la misura TM11 a 2.6 Hz, la TM12 a 3.0 Hz. Infine la misura TM10 presenta un picco non molto ampio intorno a 1.9 Hz. Quindi, in generale, i risultati dei rapporti spettrali indicano una risposta differente del conoide rispetto alla posizione del fiume, la quale può essere dovuta alla morfologia del substrato sottostante il conoide o alla complessa formazione del conoide stesso.

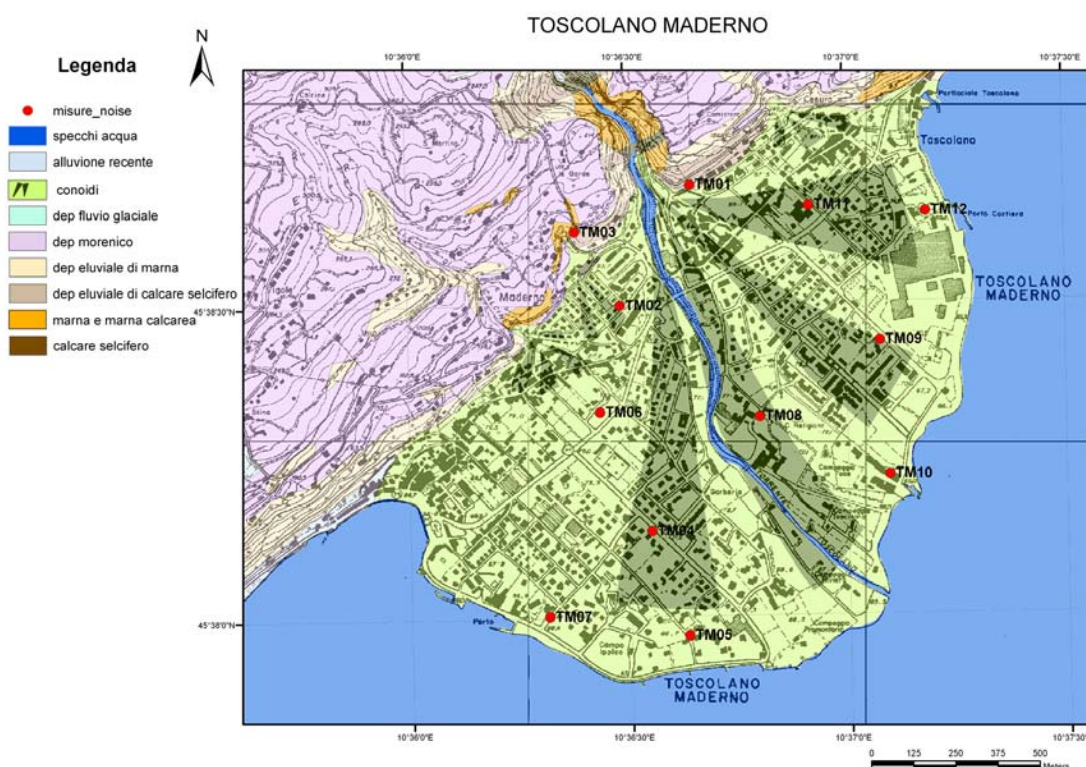


Figura 2.2.3 Posizione dei punti di misura effettuati sul territorio del Comune di Toscolano Maderno.

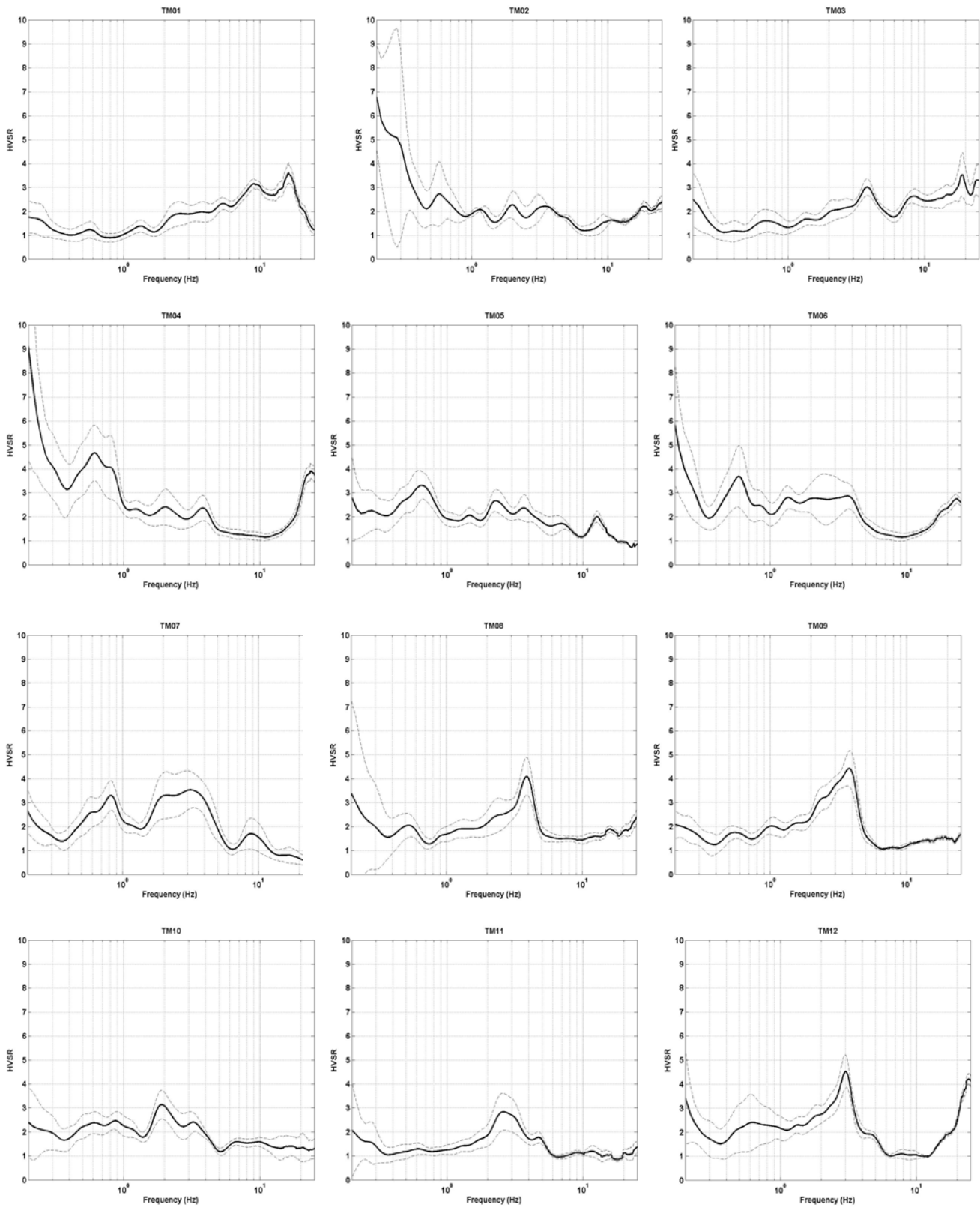


Fig.2.2.4 Curve H/V (media \pm dev. st.) relative alle misure di Figura 2.2.3

3. CLASSIFICAZIONE ED EFFETTI DI SITO

A cura di: UR1-Pessina, Luzi, Pacor

L'analisi della distribuzione del campo macrosismico (Figura 3.1) evidenzia come il danneggiamento degli edifici non sia diffuso uniformemente, ma risulti concentrato in aree alcune delle quali affette da probabile amplificazione locale (ad es. gli edifici posti lungo il fiume Chiese, a Vobarno).

Per questa ragione si sono indagate le condizioni di sito delle località in cui si dispone di osservazioni macrosismiche. Una prima analisi è stata condotta a scala sub-regionali (geologia al 500.000 e al 100.000).

Un secondo livello di indagine, più approfondito, è stato condotto utilizzando le carte geologiche al 10.000 fornite dalla regione Lombardia e le misure di microtremore.

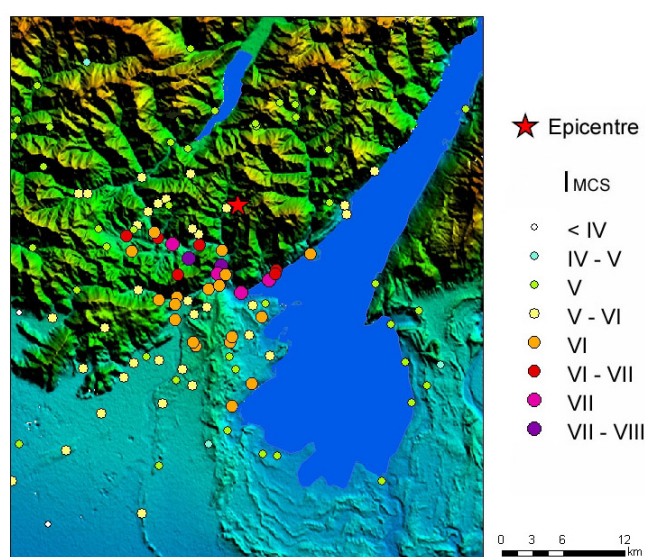


Figura 3.1 - Campo macrosismico dell'evento del 24 Novembre 2004 ($M_1 = 5.2$)

3.1 LIVELLO 0: CLASSIFICAZIONE GEOLOGICA

Per caratterizzare geologicamente le località del rilievo macrosismico si sono utilizzate le informazioni della carta geologica a scala 1:500.000 del Servizio Geologico Nazionale (1978) opportunamente classificata.

Le 128 classi geologiche sono state raggruppate in 3 classi secondo le direttive dell'Eurocodice EC8 (CEN, 2001), basate sul valore di V_{s30} , valore medio della velocità delle onde S nei primi 30 m, calcolato con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i corrispondono alla profondità e alla velocità delle onde di taglio della i -esima formazione o strato, nel totale degli N , esistenti nei primi 30 metri. Secondo EC8 la classe *A*, corrispondente a formazioni rocciose, ha valori di $V_{s30} > 800$ m/s, la *B* ha valori compresi tra 360-800 m/s, la classe *C* tra 180 - 360 m/s e la classe dei

terreni più sciolti (*D*) ha $V_{S30} < 180$ m/s.

In un precedente lavoro svolto nell'ambito del progetto GNDT 2000-2002 (coord. Amato) si era già provveduto alla classificazione delle formazioni geologiche in classi di amplificazione sismica. All'interno del progetto S5 dell'attuale convenzione DPC-INGV, si è proceduto ad una rivisitazione della precedente classificazione, grazie alla localizzazione di alcuni profili di V_{S30} , disponibili (i) da indagini recenti (Progetto DPC-INGV S3, casi campione di Molise e Gubbio); (ii) pubblicati in rete <http://peer.berkeley.edu/nga> per il progetto Next Generation Attenuation (NGA) (29 siti), o (iii) disponibili per altra fonte e opportunamente localizzati. I siti sono illustrati in Figura 3.2. In particolare la formazione geologica "Detriti, alluvioni terrazzate, fluviolacustri e fluvioglaciali (Pleistocene)" precedentemente classificata come *B*, viene ora caratterizzata da un valore di V_{S30} variabile tra 180-360 m/s, ovvero come classe *C*. Analogamente succede per la formazione "depositi eolici (Olocene, Pleistocenici pro-parte)". Le stazioni di Codroipo e Buia, aventi rispettivamente $V_{S30} = 274.50$ e 338.60 m/s, sono infatti localizzate sulla formazione "Detriti, alluvioni terrazzate, fluviolacustri e fluvioglaciali (Pleistocene)" e confermano la nuova attribuzione alla classe *C*, secondo quanto definito da EC8.

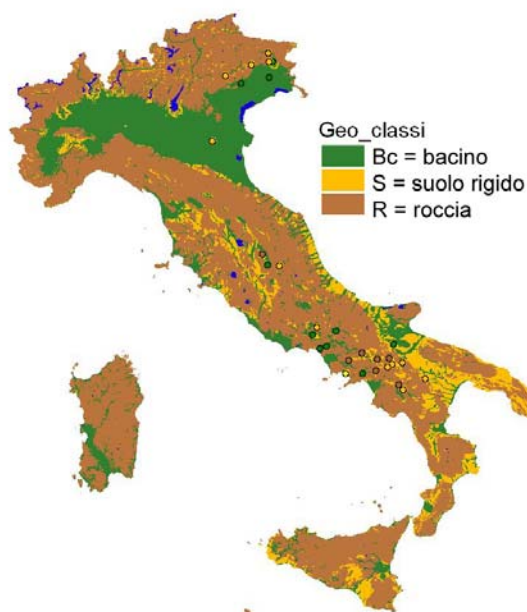


Figura 3.2 – Nuova proposta di classificazione della geologia al 500.000 per classi di terreno congruenti con EC8. I punti indicano i siti di controllo di cui si conosce il valore di V_{S30} .

Agli effetti pratici della stima di incremento dei parametri di scuotimento sismico, le due classi *B* e *C* possono essere - in prima approssimazione - raggruppate nella stessa categoria amplificativa denominata "suolo". In Figura 3.3 si riportano le osservazioni macrosismiche, differenziando quelle poste su roccia, da quelle su suolo (+) e quelle localizzate a contatto di formazioni geologiche diverse (triangolo).

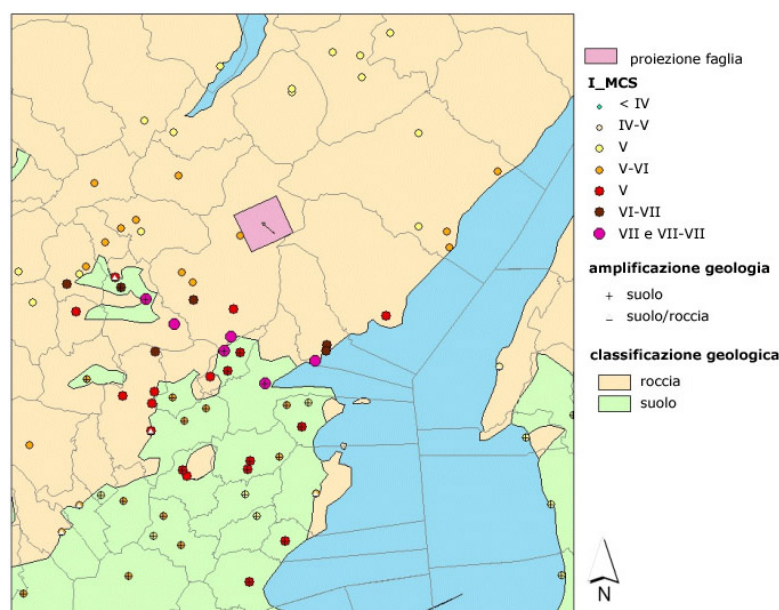


Figura 3.3 - Caratterizzazione geologica (scala 1:500.000) delle osservazioni macrosismiche

La distribuzione del valore di Intensità registrato in funzione della distanza epicentrale e delle condizioni di sito adottate viene riportata in Figura 3.4, assieme all'andamento di alcune leggi di attenuazione dell'intensità e illustrate nel precedente Deliverable D13. Come si può notare dalla figura, non emerge una forte dipendenza dalle condizioni geologiche: i siti caratterizzati dalla presenza di "suolo" non hanno registrato tendenzialmente maggiori intensità.

Fanno eccezione i due soli siti di Clibbio e Pompegnino che hanno registrato i maggiori valori di intensità (VII-VIII).

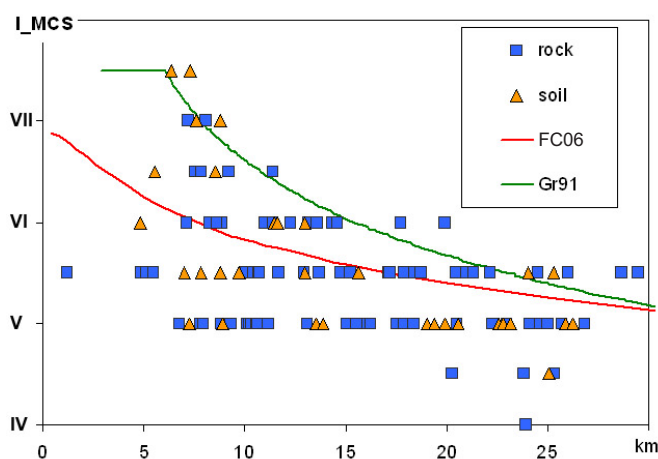


Figura 3.4 - Distribuzione delle intensità osservate in funzione della distanza epicentrale e in funzione della caratterizzazione geologica; confronto con i valori predetti dalle leggi di attenuazione FC06 (Faccioli e Cauzzi, 2006) e Gr91 (Grandori et al. 1991) (vedi PS3-Deliverable 13).

Successivamente, per i soli siti localizzati entro i 30 km di distanza epicentrale, si sono utilizzate le informazioni dei Fogli Geologici al 100.000. La caratterizzazione risultante ha praticamente confermato le attribuzioni di suolo/roccia individuate alla scala 1:500.000, a meno di pochi casi incerti. Non si sono invece potute utilizzare le

informazioni a scala 1:10.000 in quanto quelle in nostro possesso non hanno una copertura sufficientemente vasta.

Sulla base dell'informazione geologica a scala 1:100.000 sono stati realizzati gli scenari di scuotimento di livello 0 considerando anche gli effetti di probabile amplificazione locale dovuta alla presenza di suolo (classi B e C secondo EC8). E' stata utilizzata la legge di attenuazione SP96 (Sabetta e Pugliese, 1996), con distanza dalla proiezione in superficie della faglia. Il campo di scuotimento, calcolato in termini di picco di velocità (PGV), è rappresentato in Figura 3.5 (a sinistra). Successivamente i valori di velocità sono stati convertiti in intensità attraverso la relazione Faccioli e Cauzzi (2006) (Figura 3.5, destra).

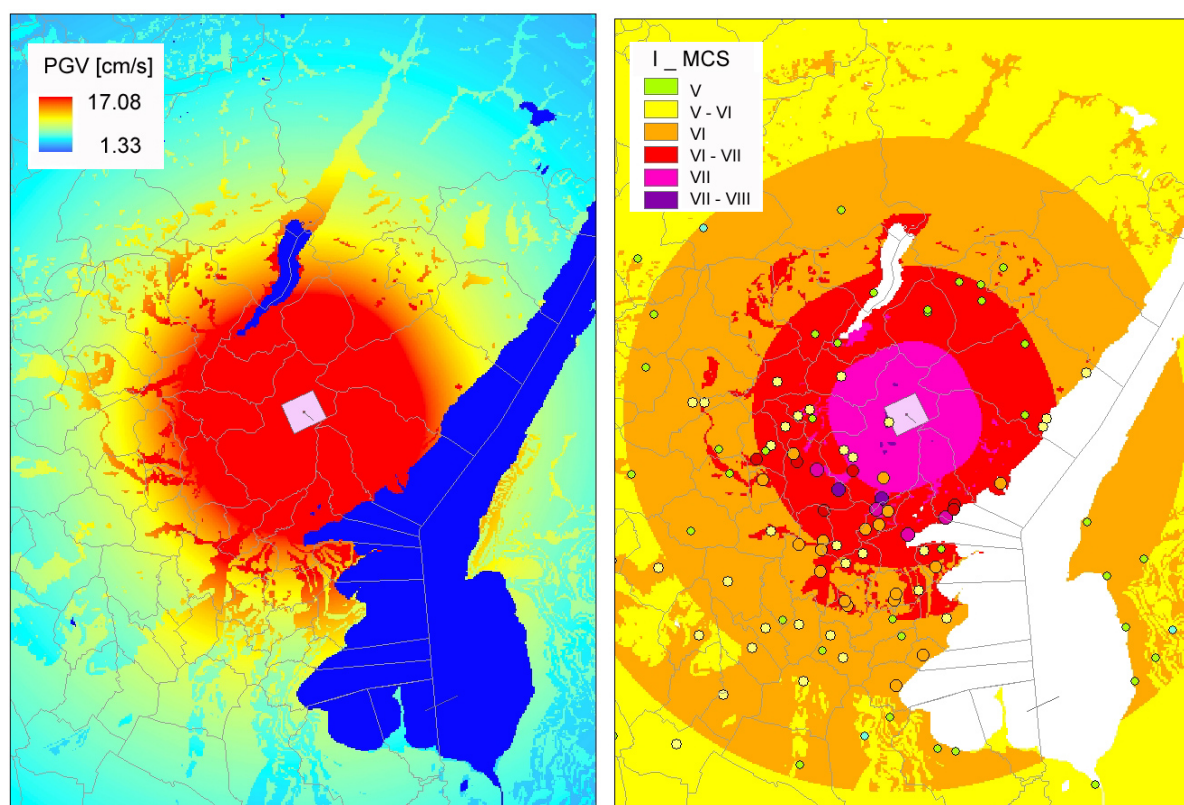


Figura 3.5 – A sinistra: campo di scuotimento in termini di PGV [cm/s] calcolato per l'evento del 24 Novembre 2004 attraverso la relazione SP96 (Sabetta e Pugliese, 19996). A destra: conversione dello scenario precedente in termini di intensità attraverso la relazione FC06 (Faccioli e Cauzzi, 2006)

Dal confronto con i valori di intensità registrati e quelli stimati (Figura 3.6), si vede che i valori stimati attraverso la relazione SP96 sono maggiori. In particolare, la media degli scarti tra le intensità registrate e quelle stimate è di circa mezzo grado (-0.6 ± 0.5), calcolata nei primi 25 km di distanza dalla proiezione in superficie della faglia.

Come si vede dal confronto delle due distribuzioni riportate in Figura 3.6, considerare le possibili amplificazioni di suolo aumenta il valore degli scarti tra i valori predetti e quelli osservati. Questo conferma che non esiste, per l'evento in questione, una forte dipendenza generalizzata dagli effetti di sito, nell'area di maggior risentimento.

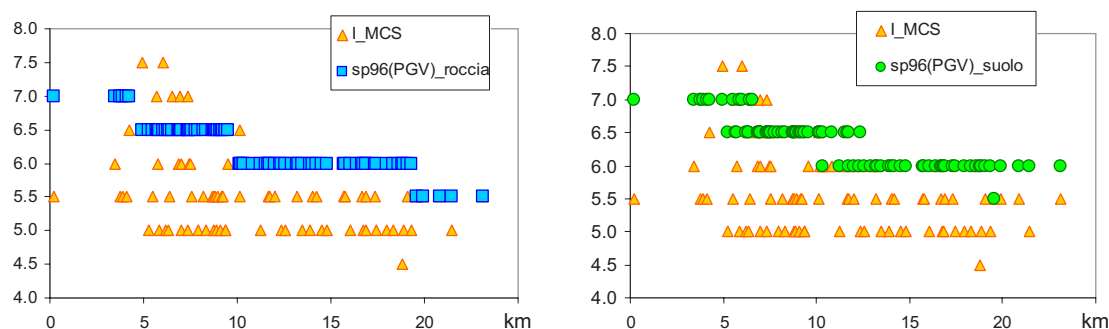


Figura 3.6 – Confronto tra le intensità osservate e quelle predette attraverso la relazione SP96 + FC06: a sinistra lo scenario per condizioni di suolo rigido e a destra quelle considerando i probabili effetti di suolo.

3.2 LIVELLO 1: CLASSIFICAZIONE SITI

In questo paragrafo si è proceduto ad un tentativo di classificazione delle quattro località di Gardone Riviera, Vobarno, Salò e Toscolano Maderno utilizzando le carte geologiche al 10.000 fornite dalla regione Lombardia e le misure di microtremore. Per la classificazione delle località, si è fatto riferimento alla normativa italiana (Ordinanza PCM 3274; 2003 e Norme Tecniche per le costruzioni; 2005):

3.1 Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni, i valori da utilizzare per V_{S30} , NSPT e c_u sono valori medi):

- A - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
- B - *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).
- C - *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
- D - *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $c_u < 70$ kPa).
- E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s.

Località Gardone Riviera

Il comune di Gardone Riviera, e come tutti i pendii della zona su depositi morenici, può essere classificato in classe A.

Dalle figure 2.2.1 e 2.2.2 non si osservano picchi di HVSR definiti, oppure dove presenti hanno valori superiori ai 10 Hz, indicando la presenza di depositi poco potenti (intorno ai 5 m) che non danno origine a fenomeni di amplificazione evidenti. Inoltre, non si sono osservate in tale località anomalie nel danneggiamento durante l'evento del 24 Novembre, confermando la mancanza di fenomeni amplificativi.

Località Vobarno

Le aree edificate del comune di Vobarno ricadenti su depositi alluvionali recenti e terrazzati e depositi fluvio glaciali di spessore inferiore ai 30 m possono essere classificate in classe E della normativa.

Infatti dalla figure 2.1.4 si osserva che la frequenza fondamentale, stimata dalle misure di rumore, è all'incirca 6 - 7 Hz, suggerendo la presenza di depositi con spessori dell'ordine di 10-20 m. Va notato che i depositi fluvio-glaciali, meno recenti dei depositi alluvionali, potrebbero essere attribuiti alla classe B in quanto la frequenza di risonanza diminuisce (siti GN16, GN17, e GN19 di figura 2.14) fino a 2 e 3 Hz, indicando o un aumento degli spessori o una diminuzione delle velocità dei depositi stessi.

Località Toscolano Maderno

L'area indagata di Toscolano Maderno cade principalmente su una conoide alluvionale. Poiché questo tipo di depositi è molto caotico, la campagna di misura è stata effettuata infittendo i punti di indagine (Figure 2.2.3 e 2.2.4). Come atteso le risposte sono alquanto variabili, ma è comunque possibile identificare una frequenza di risonanza prevalente corrispondente a 0.7 - 0.8 Hz nella porzione occidentale del conoide; viceversa nella porzione orientale si osserva la risonanza a frequenza minore di 1 Hz; compare anche una frequenza dominante pari a 2 - 3 Hz.

L'ipotesi più probabile è che vi sia una differente stratificazione tra i due settori e che in quello orientale sia presente uno strato superficiale più recente che potrebbe giustificare il picco a più alta frequenza.

Senza ulteriori indagini l'intero comune viene posto in classe C, tenendo tuttavia presente che per il settore orientale si potrebbe sottostimare la parte dello spettro in alta frequenza (> 2.5 Hz).

Località Salò

L'area indagata di Salò è ubicata su depositi alluvionali recenti che si sono depositi su depositi fluvio glaciali e morenici (Figura 2.1.5). Dalle misure di microtremore la frequenza di risonanza dei depositi fluvio glaciali è generalmente compresa fra 3 e 5 Hz, mentre per i siti localizzati sui depositi alluvionali non è possibile identificare chiaramente una frequenza predominante, tuttavia si osserva uno spostamento verso le basse frequenze della risonanza che potrebbe indicare un approfondimento dei depositi. Sulla base delle informazioni disponibili, l'abitato potrebbe ricadere sia nella classe B che nella classe C.

4. GIS

A cura di: UR1-Pessina

È stato messo a punto un GIS per la gestione e la diffusione dei dati del progetto. Tutti i dati sono stati georeferenziati nel sistema di riferimento ED_1950_UTM_Zone 32N.

Il progetto GIS è consultabile con Esri® ArcMap

Alla base del GIS sono stati raccolti ed ordinati i dati di carattere generale, ad estensione subregionale-provinciale. Dati di dettaglio, quali ad esempio i risultati delle misure di rumore, sono stati organizzati a carattere locale, in particolare per le quattro località di Salò, Vobarno, Gardone Riviera e Toscolano Maderno, scelte come siti di validazione del Progetto.

I dati del GIS illustrano gli scenari di scuotimento calcolati per condizioni di suolo rigido (PS3-Deliverable 13), sia quelli prodotti tenendo in considerazione i probabili effetti di amplificazione locale, discussi nella presente relazione. Il presente Deliverable 14-15 unifica, per fini di completezza, i due deliverables attesi “D14 - Funzioni di trasferimento empiriche e risposte in frequenza degli edifici, Validazione dei modelli per il terremoto del Garda” e “D15 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito”.

Il progetto risulta così strutturato

/base	Assieme alle informazioni di base (confini amministrativi, dati Istat 2001, DEM, localizzazione parziale dei danni, ctr) sono contenute anche informazioni geologiche (mappa amplificazioni 1: 500.000, fogli geologici 1:100.000, mappa geomorfologia e litologica 1:10000 e caratterizzazioni locali attraverso campagne di rumore)
/immagini	File immagini dei rapporti H/V delle misurazioni di rumore (hyperlink)
/scuoti	Dati sismici (epicentro, faglia, piano quotato, posizionamento rete mobile e localizzazione repliche, stazione accelerometrica) e scenari di livello 0 e livello I

Descrizione dei layers di ./base

NOME	DESCRIZIONE E FONTE
Comuni_bs	Confini amministrativi comunali della provincia di Brescia
Edifici_2001	File .dbf associato a comuni_bs contenente i dati del 14° censimento ISTAT 2001 sulla popolazione: numero totale di edifici, edifici divisi per classe di età di costruzione, per tipologia costruttiva, per nuclei o case sparse, numero di abitanti e densità abitativa.(http://dawinci.itat.it/daWinci/jsp/MD/dawinciMD.jsp)
Danni (alcuni)	Localizzazione (parziale) delle segnalazioni di danneggiamento (da UR4)
Campagna_misure1	Localizzazione e risultati della campagna di misura di rumore realizzata da INGV_Mi in Val Sabbia
Campagna_misure2	Localizzazione e risultati della campagna di misura di rumore realizzata da INGV_Mi a Toscolano Maderno e Gardone Riviera
Geoamp_nord	Classificazione suoli della mappa geologica a scala 1:500.000
geoNW	Geologia a scala 1:100.000, foglio 34 (Servizio Geologico - DPC) ¹
Ctr_voli8091	Carte tecniche territoriali 1: 10.000 Regione Lombardia (SIT) ²
Dem	Digital elevation model 20x20m (Regione Lombardia, SIT) ²
geoNE	Geologia a scala 1:100.000, foglio 35 (Servizio Geologico - DPC) ¹
geoSW	Geologia a scala 1:100.000, foglio 47 (Servizio Geologico - DPC) ¹
geoSE	Geologia a scala 1:100.000, foglio 48 (Servizio Geologico - DPC) ¹
Ab_ctrgeo32	Idrografia. Cartografia geoambientale 1:10.000. Comunità montane Val Sabbia e alto Garda (Regione Lombardia - SIT) ²
Do_geo_32	Depositi detritici. Cartografia geoambientale 1:10.000. Comunità montane Val Sabbia e alto Garda (Regione Lombardia - SIT) ²
Af_geo_32	Accumuli di frana. Cartografia geoambientale 1:10.000. Comunità montane Val Sabbia e alto Garda (Regione Lombardia - SIT) ²
Co_geo_32	Conoidi. Cartografia geoambientale 1:10.000. Comunità montane Val Sabbia e alto Garda (Regione Lombardia - SIT) ²
SI_geo_32	Substrato. Cartografia geoambientale 1:10.000. Comunità montane Val Sabbia e alto Garda (Regione Lombardia - SIT) ²
Ds_geo_32	Depositi superficiali. Cartografia geoambientale 1:10.000. Comunità montane Val Sabbia e alto Garda (Regione Lombardia - SIT) ²

¹ Dati ad uso esclusivamente interno ai programmi DPC-INGV, provenienti da un Accordo di Programma tra APAT - Servizio Geologico, DPC - Servizio Sismico e ANAS.

² Dati di proprietà della Regione Lombardia, Comunità Montana Alto Garda, Comunità Montana Val Sabbia e Provincia di Brescia.

Descrizione dei layers di ./scuoti

NOME	DESCRIZIONE E FONTE
Pq_2004	Piano quotato evento dell'evento del 24.11.2004 (QUEST-INGV, 2005)
Epi_2004	Localizzazione epicentro (INGV, CNT, Bollettino sismico)
Fault_2004	Proiezione in superficie del Piano di Faglia (cit. Pessina et al???)
Staz_accel	Localizzazione della stazione accelerometrica
Eventi_rete	Localizzazione degli eventi registrati dalla rete temporanea (INGV_Milano)
Rete mobile	Localizzazione della rete temporanea (INGV_Milano)
Int_Gr91	Scenario di scuotimento in intensità (Livello 0) secondo la relazione di Grandori et al. (1991)
Int_FC06	Scenario di scuotimento in intensità (Livello 0) secondo la relazione di Faccioli e Cauzzi (2006)
Dsm_2004	Scenario di scuotimento di Livello I: riproduzione dell'evento del 2004 con DSM, convertito in intensità con FC06 (INGV_Mi)
Dsm_medio	Scenario di scuotimento predittivo medio (Livello I) convertito in intensità con FC06 (INGV_Mi)
Dsm_max	Scenario di scuotimento predittivo massimo (Livello I) convertito in intensità con FC06 (INGV_Mi)
Dsm_min	Scenario di scuotimento predittivo medio (Livello I) convertito in intensità con FC06 (INGV_Mi)
Int_pga_SP96_rock	Scenario di Livello 0 calcolato in PGA (con SP96 Sabetta e Pugliese, 1996) e convertito in intensità (con FC06) per condizioni di suolo (alluvioni profonde = roccia)
Int_pgv_SP96_rock	Scenario di Livello 0 calcolato in PGV (con SP96) e convertito in intensità (con FC06) per condizioni di roccia
Int_pgv_SP96_soil	Scenario di Livello 0 calcolato in PGV (con SP96) e convertito in intensità (con FC06) per condizioni di suolo (alluvioni profonde e superficiali)

Per l'area in esame è stato prodotto anche una GIS consultabile su Web, che risulta essere una parziale versione di quella allegata (nel CD) in quanto contiene le sole informazioni che non hanno vincoli di distribuzione. I dati sono consultabili al presente indirizzo: http://esse3.mi.ingv.it/garda_alov/Progetto_Garda.htm

BIBLIOGRAFIA

- CEN (2001). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. DRAFT No 4. Final Project Team Draft (Stage 34). December 2001, Ref.No: prEN 1998-1:200X
- Faccioli, E., Cauzzi, C. (2006). Macroseismic intensities for seismic scenarios, estimated from instrumentally based correlations. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September, Paper Number: 569
- GNDT Project: Probable earthquakes in Italy from year 2000 to 2030: guidelines for determining priorities in seismic mitigation (coord. Amato)
- Grandori, G., Drei, A., Perotti, F., Tagliani, A. (1991). Macroseismic intensity versus epicentral distance: the case of central Italy. *Tectonophysics*, **193**, 165-171.
- INGV-Centro Nazionale Terremoti (2006). Seismic Bulletin. <http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/bollettino>
- Norme tecniche per le costruzioni (2005); D.M. 14/09/05 (Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23/11/2005)
- Ordinanza PCM 3274 (2003) Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche (G.U. n.105 del 08/05/2003)
- Pessina V., Franceschina G., Vannoli P., Luzi L., Pacor F. (2006). Damage distribution and seismological model of the November 2004, Salò (Northern Italy) earthquake. *1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES)*, September 3-8, Geneva - Switzerland. Paper N. 1371
- PS3-Deliverable D13 - "TASK 4 - SCENARI DI VALIDAZIONE. AREA 2 - DELIVERABLE 13: GARDA" A cura V. Pessina, G. Franceschina, P. Augliera, M. Massa, D. Di Giacomo, S. Marzorati, E. D'Alema, S. Lovati, F. Pacor (UR1), cCon la collaborazione di: Raul Ramon Castro (CICESE, Mx), Paola Vannoli (INGV-Roma1) Dicembre 2006
- QUEST (QUick Earthquake Survey Team) (2005). Rilievo macrosismico del terremoto del Garda del 24 novembre 2004, *Ingegneria Sismica*, Anno XXII - N.2, 44-59.
- Regione Lombardia e CNR (1996). *Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia*.
- Sabetta, F. and A. Pugliese (1996). Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motion, *Bull. Seism. Soc. A.*, **77**, 337-352-
- Servizio Geologico Nazionale (edz.) (1978). Carta Geologica d'Italia al 500.000.

APPENDICE A: MISURE DI RUMORE AMBIENTALE IN EDIFICIO E FREE FIELD

A CURA DI UR4- Bologna-Mulargia

L'attività ha riguardato l'indagine sismica passiva a stazione singola nelle località Sabbio Chiese, Pompegnino e Mornaga, tutte in provincia di Brescia. La ricerca ha riguardato l'analisi comparata di misure in free-field ed in edificio..

Sono state effettuate misure di microtremore ambientale con tromografo Tromino in:

1. 3 siti in località Sabbio Chiese, di cui 1 su edificio
2. 17 siti in località Pompegnino, di cui 5 su edificio (cfr. ubicazione in **Figura 7**)
3. 15 siti in località Mornaga (cfr. ubicazione in **Figura 8**)

Il quadro globale dei siti di misura è riportata nell'ultima pagina di questa relazione



Figura 7. Ubicazione delle misure in località Pompegnino (Brescia).

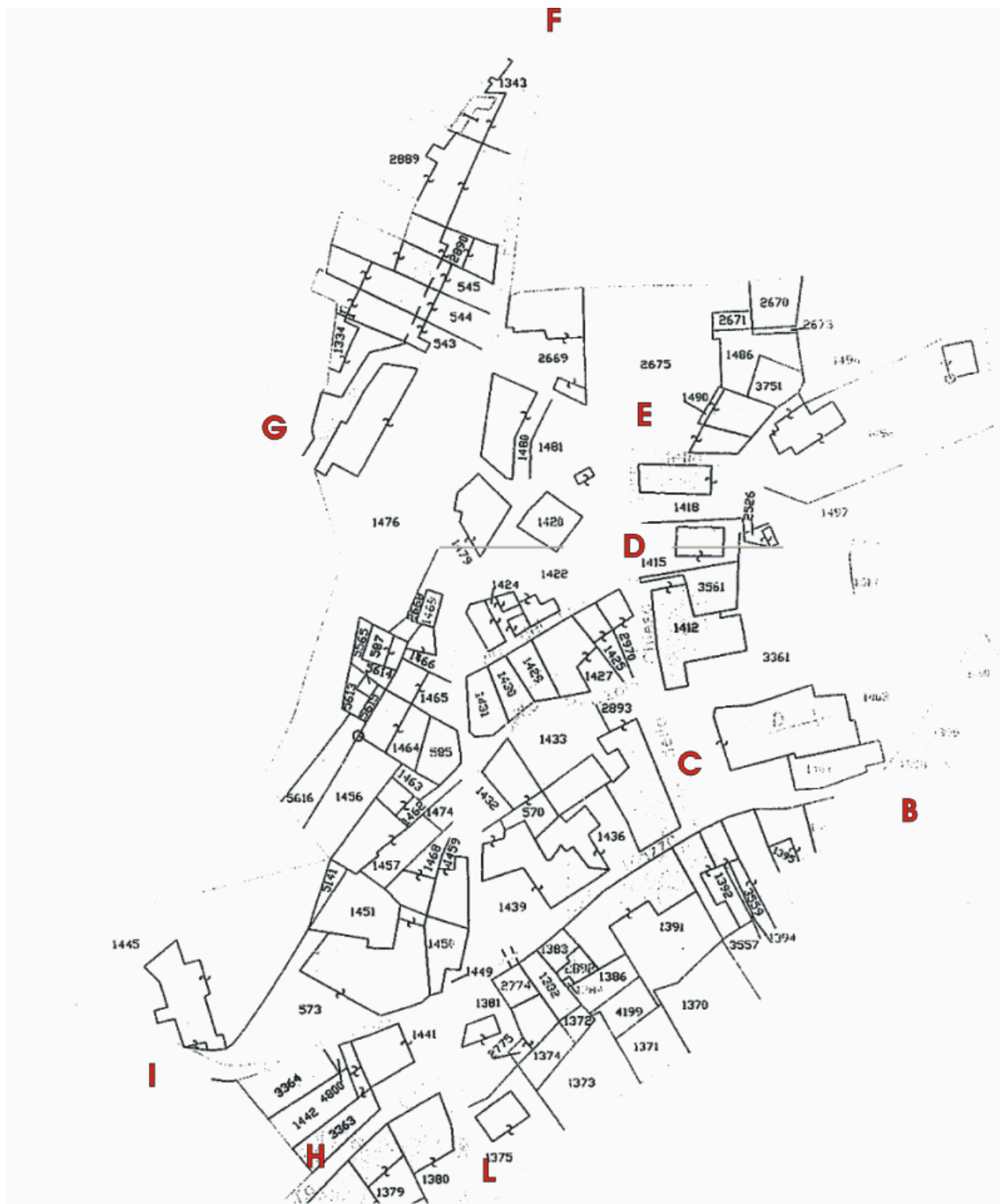


Figura 8. Ubicazione delle misure di microtremore in località Morgnaga (Brescia).

Tutte le curve sono state trattate tramite suddivisione del tracciato in finestre di 20 secondi, lisciamento al 10% secondo finestra triangolare. Le misure del microtremore hanno una durata di 15-20 min ciascuna.

SABBIO CHIESE

Abbiamo effettuato una misura in un foro di finestra del piano superiore del Santuario (**Figura 10**), fortemente danneggiato dal (e ancora chiuso in seguito al) terremoto del 24/11/2004.

N-S è la direzione ortogonale al muretto su cui è stato posto lo strumento, E-W è la direzione parallela a detto muretto. Questo è facilmente intuibile anche dalla marcata amplificazione della componente N-S rispetto a quella E-W negli spettri di **Figura 9** che riflette il modo fondamentale di oscillazione del muro.

Il gruppo di Milano (Marcellini) ha eseguito misure nello stesso sito. Il gruppo di Marcellini dovrebbe aver eseguito una misura anche in free-field nel giardino antistante il santuario.

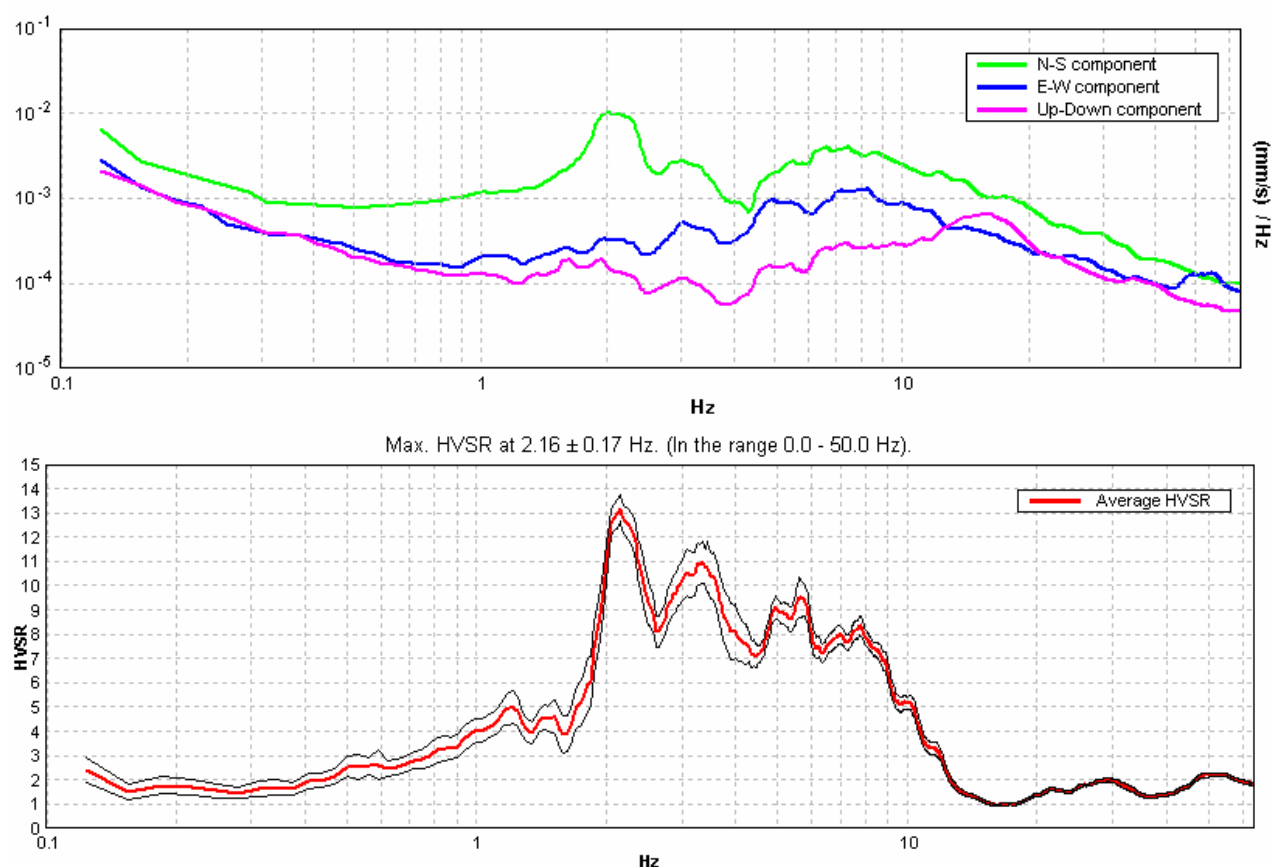


Figura 9. Spettri di ampiezza in velocità e rapporto spettrale H/V.



Figura 10. Santuario Madonna della Rocca (Sabbio Chiese) [foto da www.sabbio.com].

MORGNAGA

Le misure in free-field effettuate a Mornagna sembrano mettere in evidenza un bedrock piuttosto superficiale (1-5 m) nei siti A ed N, collocati rispettivamente lungo la strada che porta al paese, all'alterzza del piazzale del municipio e ai piedi del paese.

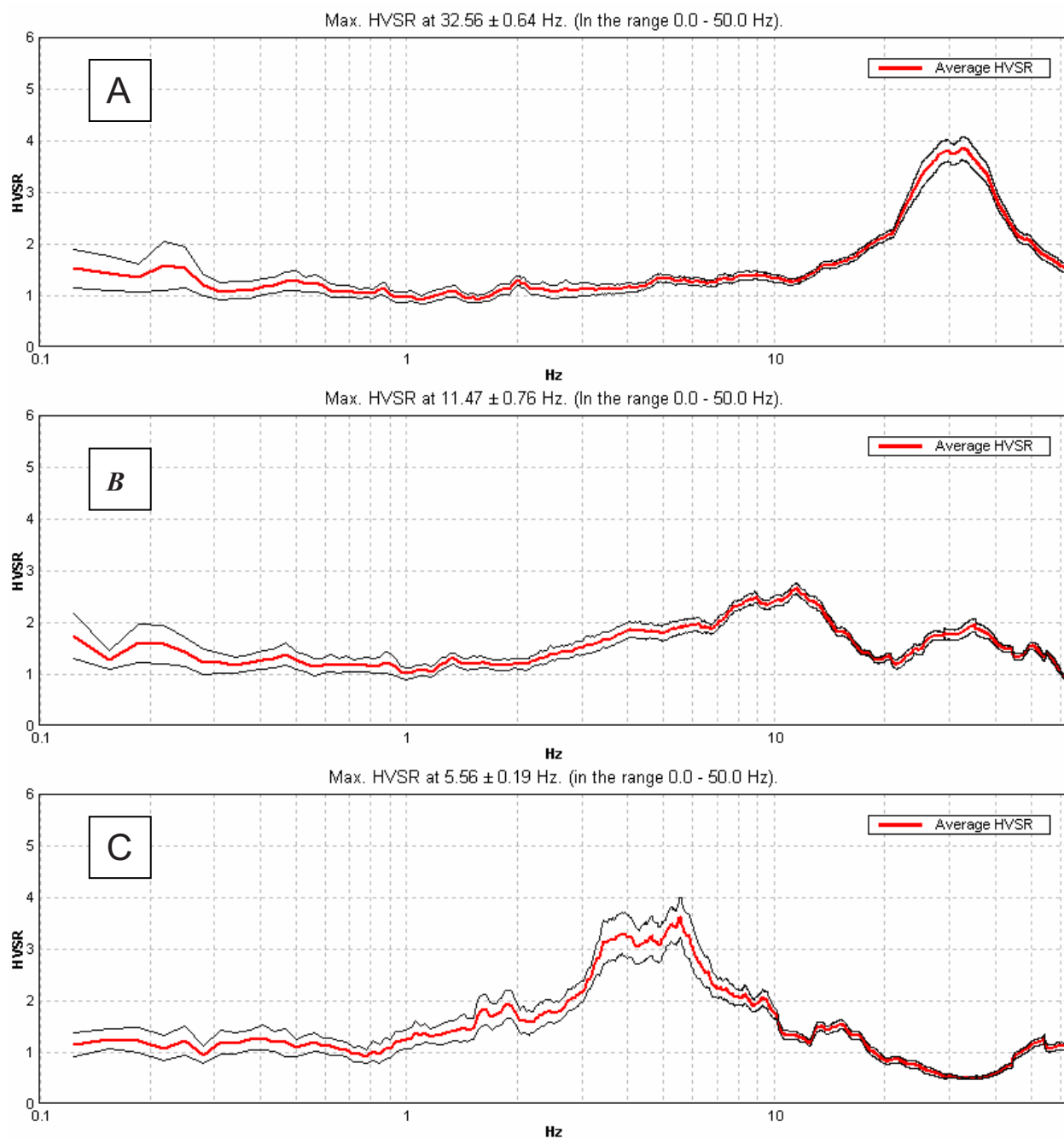
Negli altri siti sono invece ben visibili discontinuità a profondità maggiori.

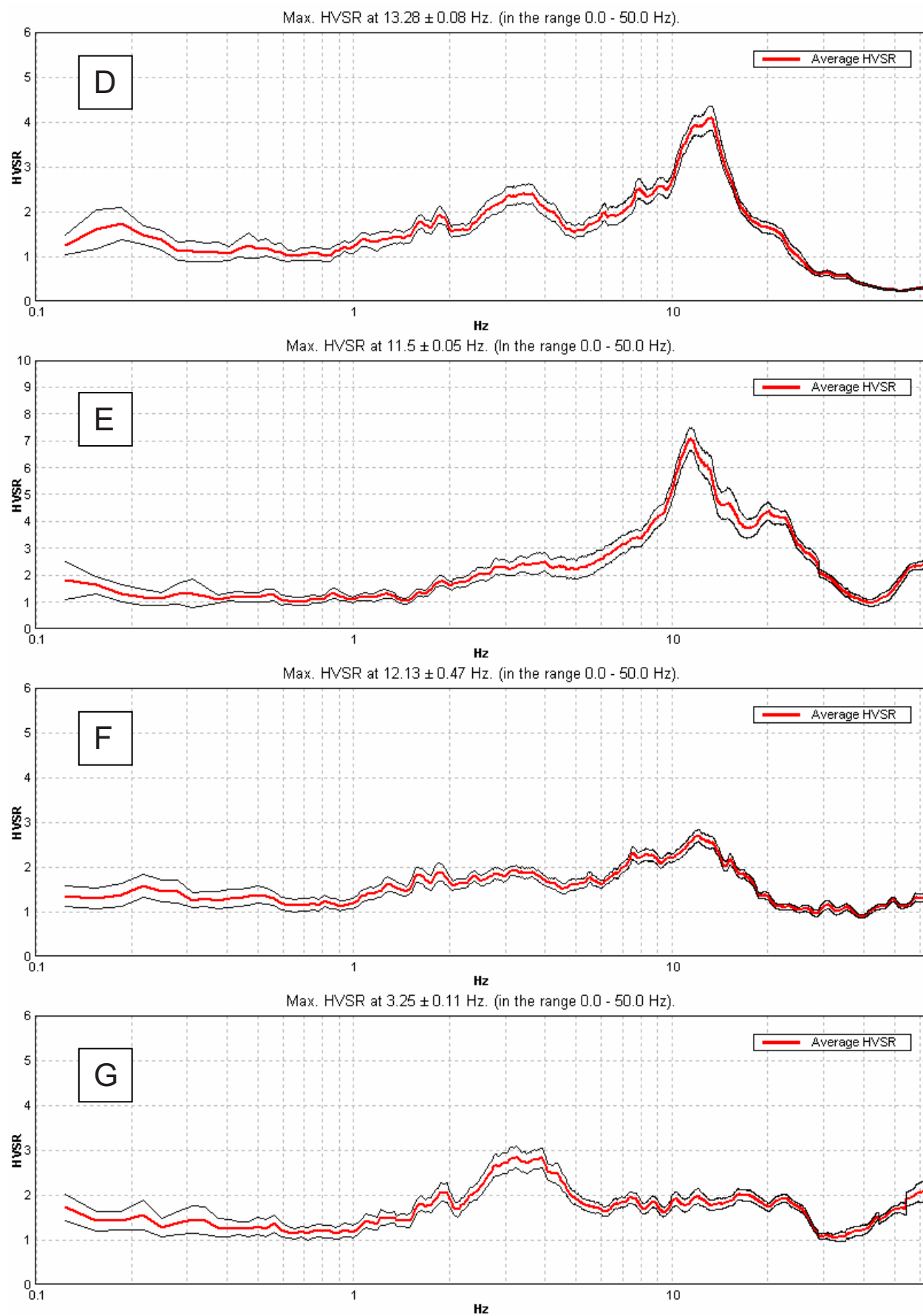
A Mornagna non abbiamo effettuato alcuna misura in edificio e per questioni di accessibilità e perché con il gruppo di Marcellini e dell'INGV ci si era accordati per misure in sito, avendo loro la dei danneggiamenti degli edifici e le conoscenze giuste per accedere agli stessi.

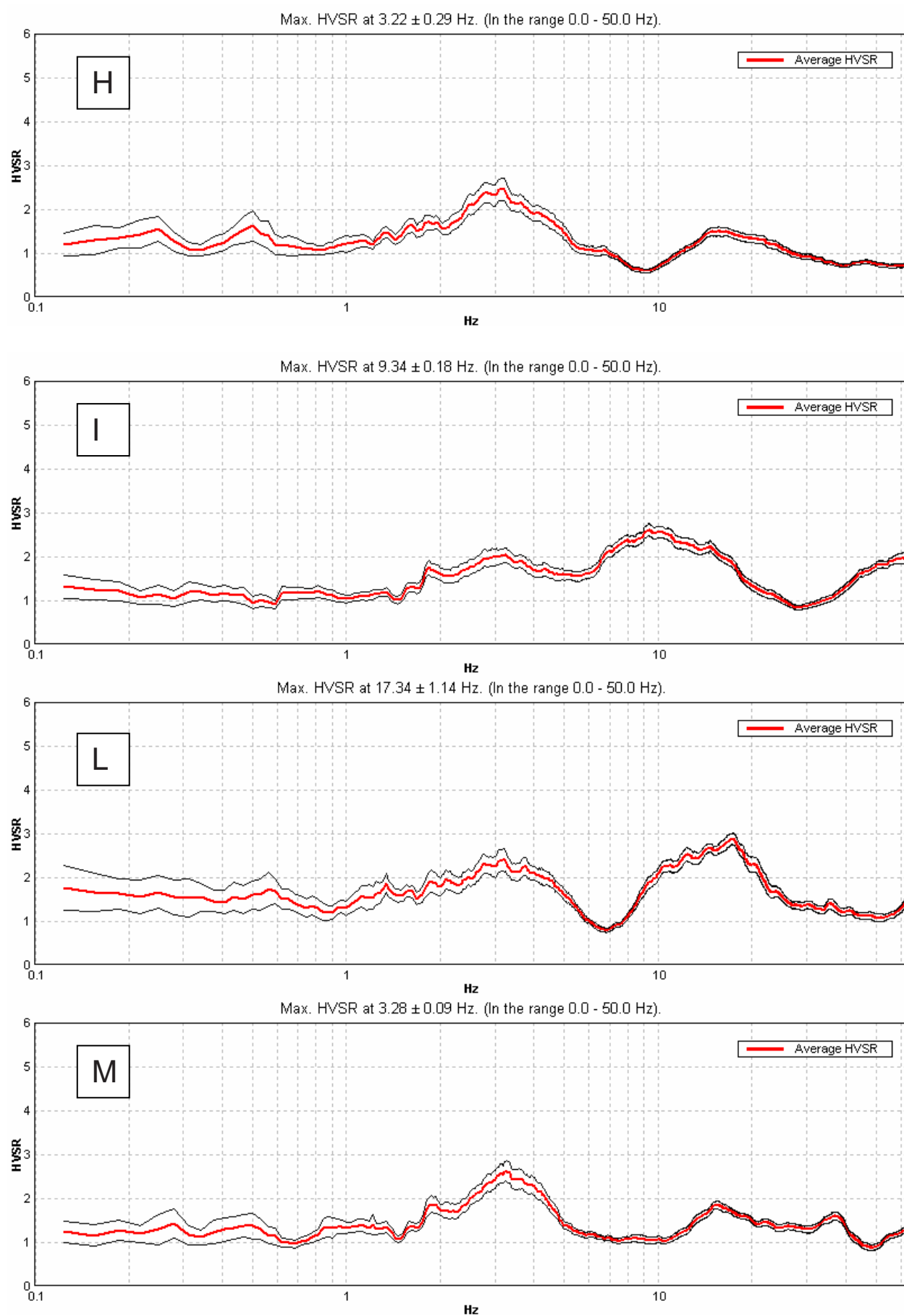
Breve didascalia dei siti

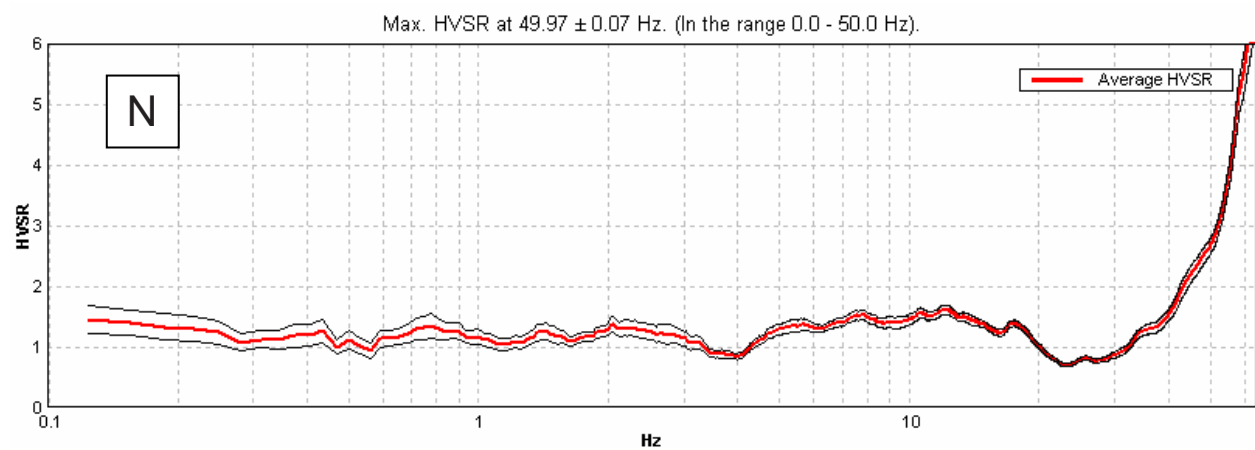
- A)** Nel giardino antistante il Municipio di Mornagna, lungo il versante che sale alla città
- B)** Nel piccolo parco giochi di fronte a via della Rosa
- C)** Sul piazzale della chiesa in via della Chiesa (pavimento in san pietrini di riolite)
- D)** Sulla soglia in cemento del cancello
- E)** Nel giardino (ruspe al lavoro)
- F)** Cannello verde del maneggio (civico 55)
- G)** Via dei Filippini
- H)** Cannello della casa in vendita in via di Clune 4
- I)** Via di Banale (cannello nero prima della villa)
- L)** Via Calvas
- M)** Via di Clune in direzione Salò (parcheggio della villa gialla danneggiata)
- N)** Una prova con 3 Tromini in parallelo nello stesso sito

MISURE IN FREE-FIELD





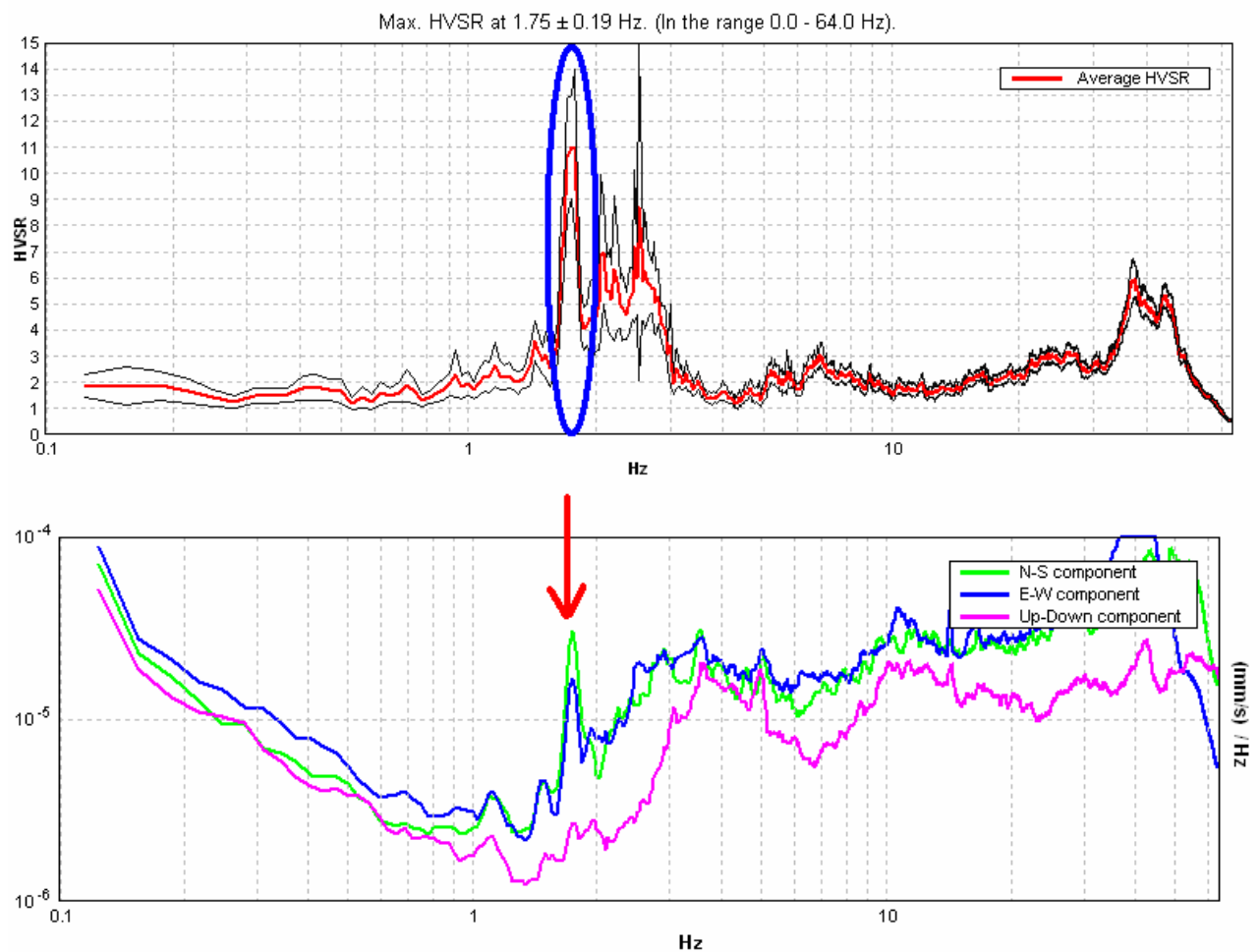




POMPEGNINO

Le misure effettuate a Pompegnino presentano un chiaro disturbo di natura antropica a 1.7 Hz, riconoscibile nei diversi giorni in cui sono state effettuate le misure. **DI QUESTO SI DEVE OVVIAMENTE TENERE CONTO NELLA INTERPRETAZIONE DEI PICCHI H/V.**

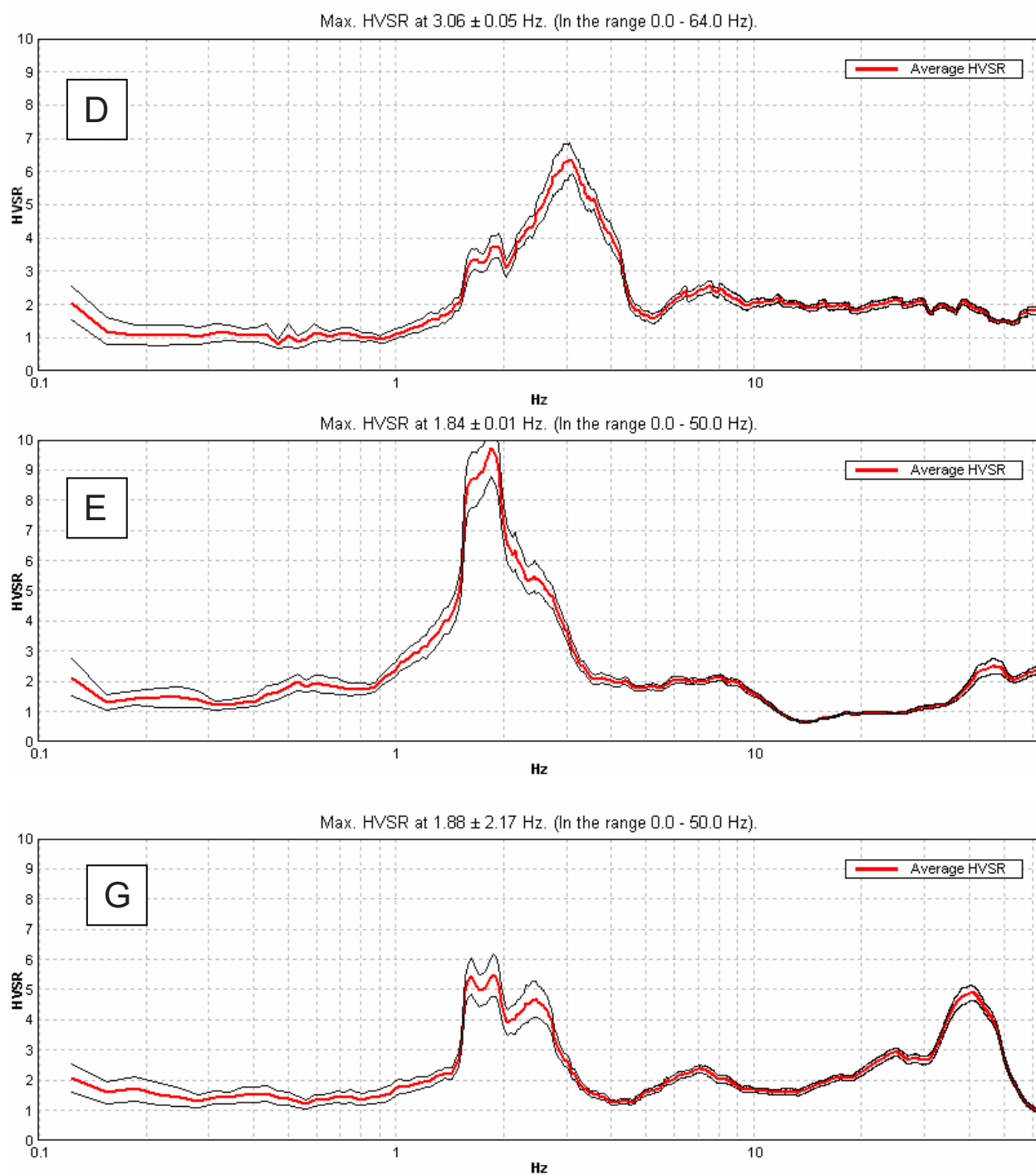
Nelle figure sottostanti, lisceate all'1% della freq. centrale, lo mettiamo in evidenza sia nei grafici H/V che in quelli dei singoli spettri.

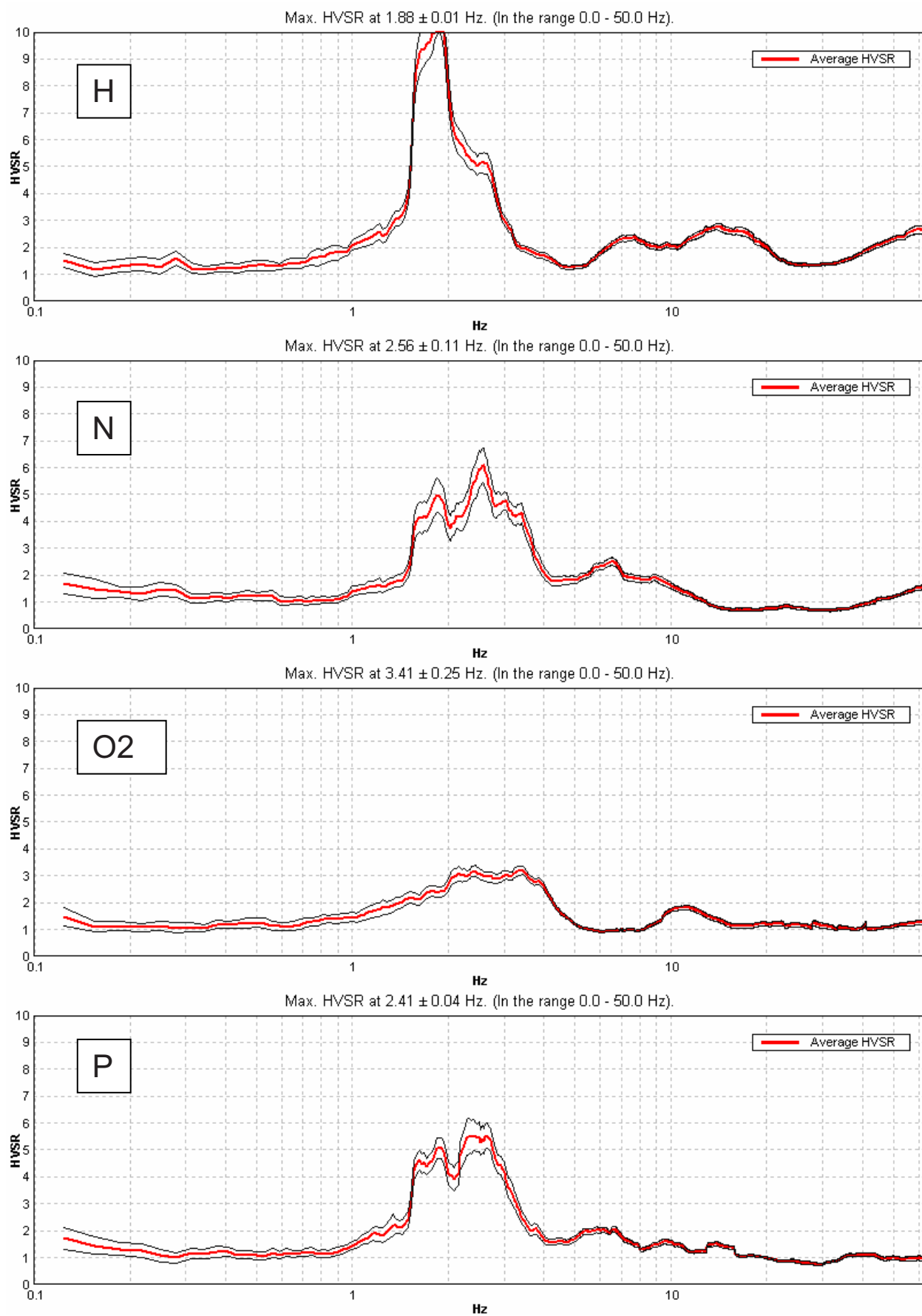


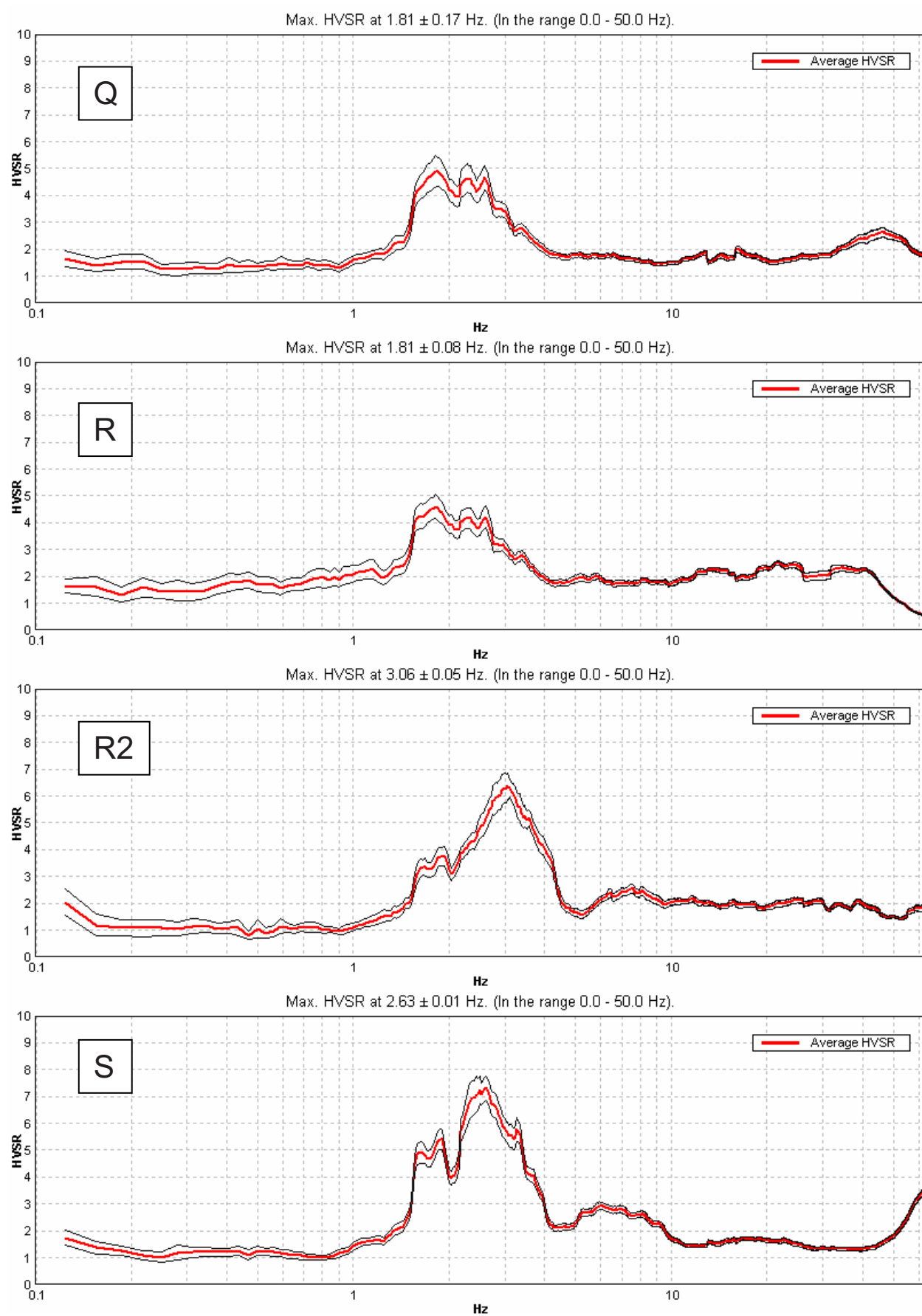
Breve didascalia dei siti

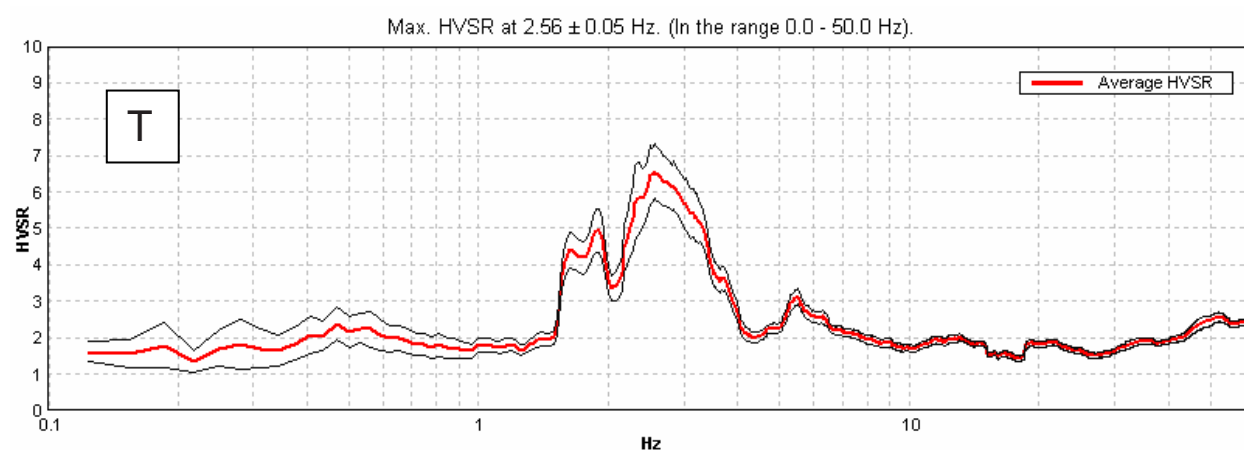
- A) sul selciato della Chiesa fortemente danneggiata (per cfr. con gruppo INGV)
- B) via per Vobarno 16, su detriti fluvioglaciali
- C) giardino casa, sul bordo della cava
- D) in prossimità del cancello della casa di cui al sito F)
- E) nel giardino in prossimità del tendone della Protezione Civile
- F) all'interno della casa rossa (piano 2) restaurata, prossima alla cava di cui ai siti F) e G)
- L) all'interno della casa verde (piano 0) fortemente danneggiata
- M) all'interno della casa verde (piano 2) fortemente danneggiata
- N) al tornante tra via dell'Asilo e via che torna alla chiesa
- P) via Chiese 19 (colloquio col sig. Gino che fu nei campi di concentramento)
- Q)
- R)
- S) al ciglio della scarpata
- T) al bordo della cava
- U) presso la casa dei signori che ci hanno offerto il cioccolato e che hanno percepito forte il terremoto
- O2) A Pompeggino, verso Roè
- P2) sotto il ponte ferroviario, verso il ruscello
- Q2) sotto la casa del sig. Gino (Lager)
- R2) **Qui, a S-E del paese, gli abitanti dicono che ci furono pochi danni. Più danni sembrano esserci stati a N-W**

MISURE IN FREE-FIELD









MISURE IN EDIFICI

CASA VERDE – SITO L, M



Figura 11. Sito L/M. Casa verde fortemente danneggiata [foto da archivio INGV].

Spettro e curva H/V misurate nel giardino immediatamente esterno alla casa sono riportati qui sotto.

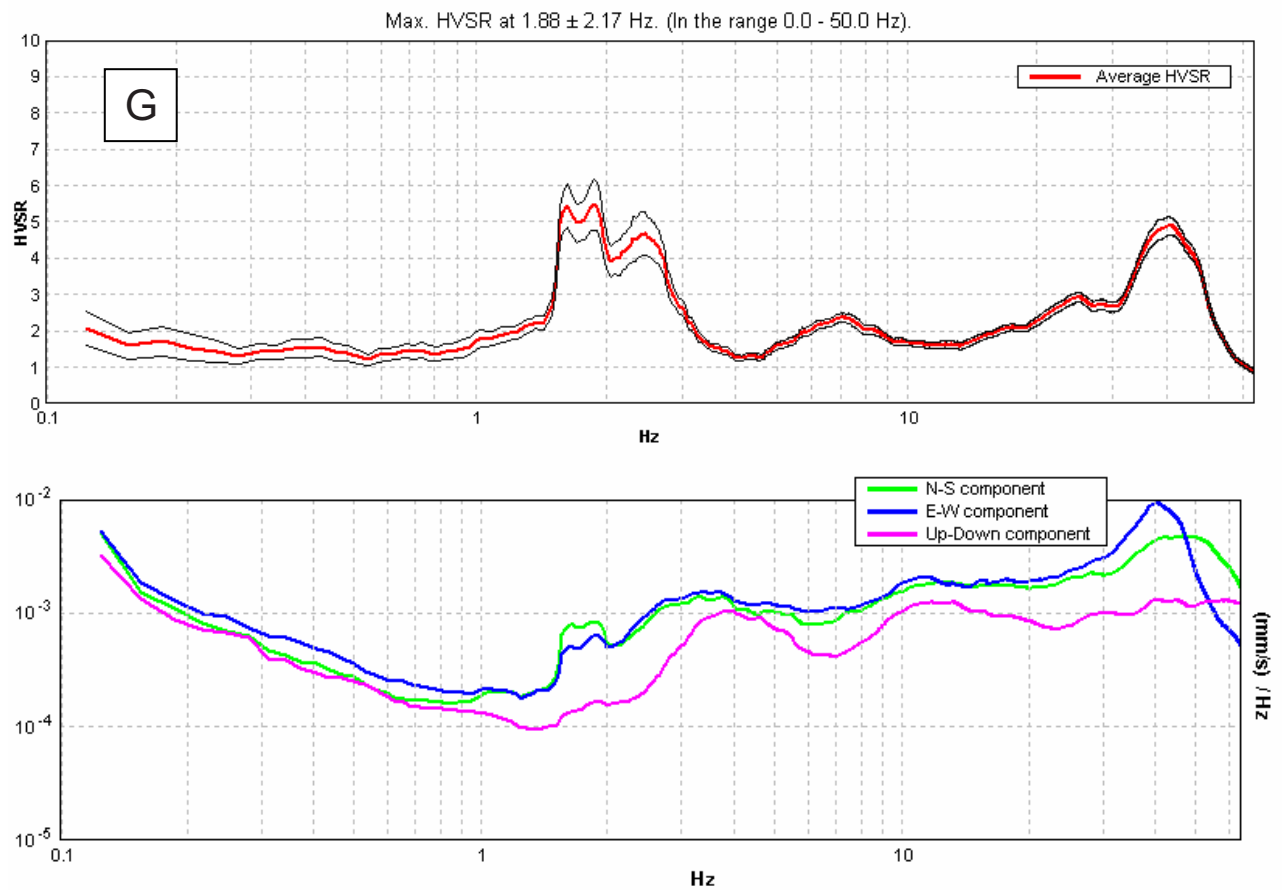


Figura 12. H/V e spettri in campo libero in prossimità dell'edificio.

Il confronto tra le misure effettuate nel sito esterno, al piano terra e al secondo piano della casa sono date nelle figura sottostante.

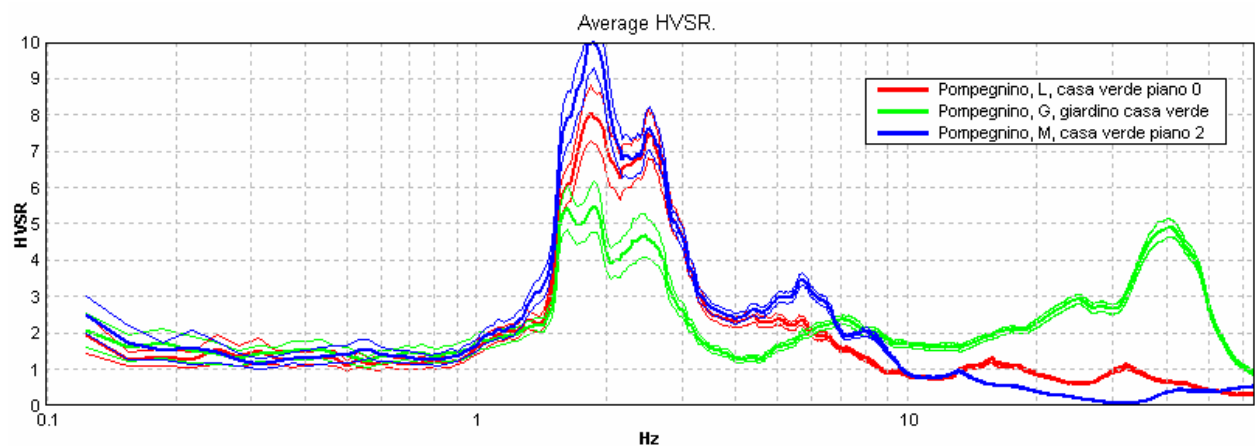


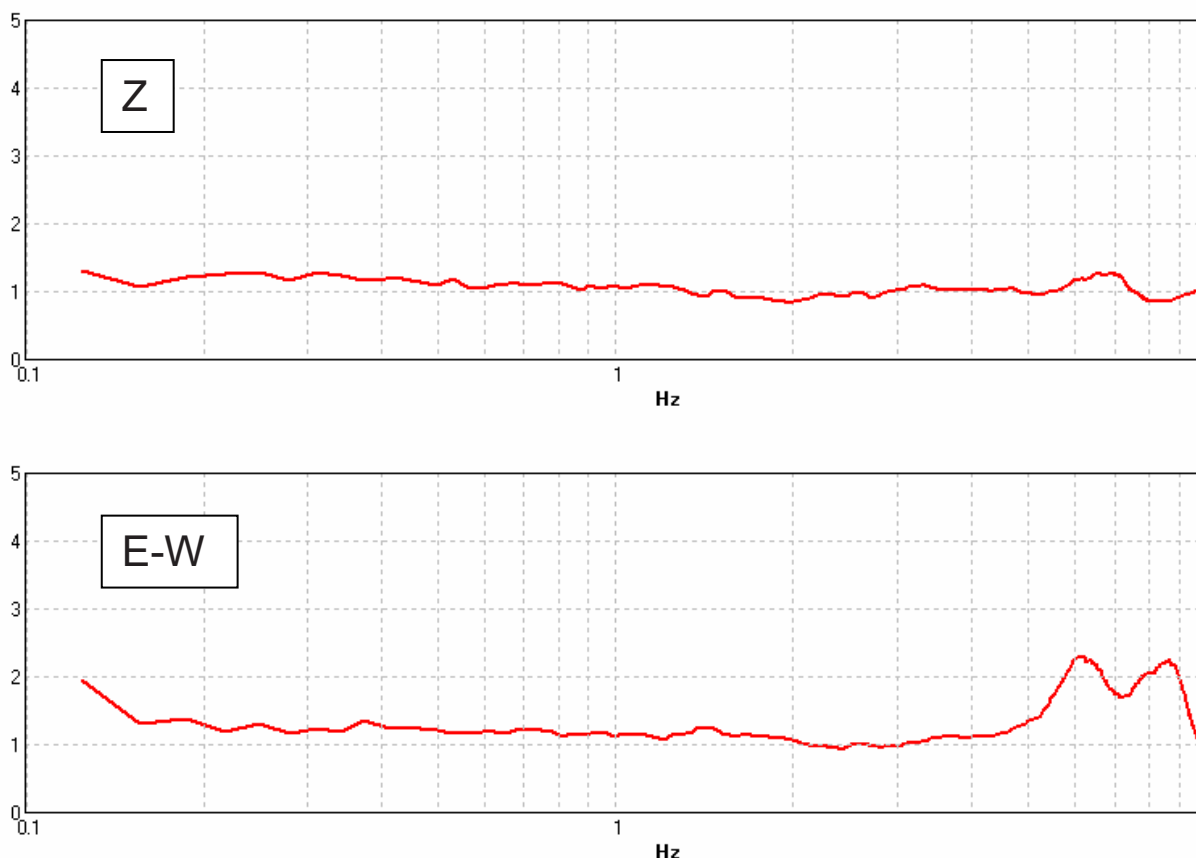
Figura 13. Confronto tra gli H/V registrati in edificio e in campo libero vicino all'edificio.

Nelle figure sottostanti rapportiamo invece le 3 componenti del moto registrato al secondo piano della casa rispetto a quelle misurate al piano terra, al fine di mettere in evidenza le frequenze di risonanza proprie dell'edificio. Si evidenzia un rapporto della componente verticale perfettamente pari a 1 in tutto il range di frequenze di interesse ingegneristico (0.1-1 Hz).

Si evidenzia un'amplificazione della componente E-W del moto al secondo piano pari a circa 2.2 volte rispetto al piano terra a 6 e 8.5 Hz (le misure ai due piani sono state effettuate in contemporanea, avendo noi a disposizione due strumenti).

Si evidenzia un'amplificazione della componente N-S del moto al secondo piano pari a circa 2 volte rispetto al piano terra a 7-8 Hz (le misure ai due piani sono state effettuate in contemporanea, avendo noi a disposizione due strumenti).

Facciamo notare che a 7 Hz esiste una risonanza del terreno (evidenziata bene dalla curva H/V di **Figura 12**) di chiara origine stratigrafica.



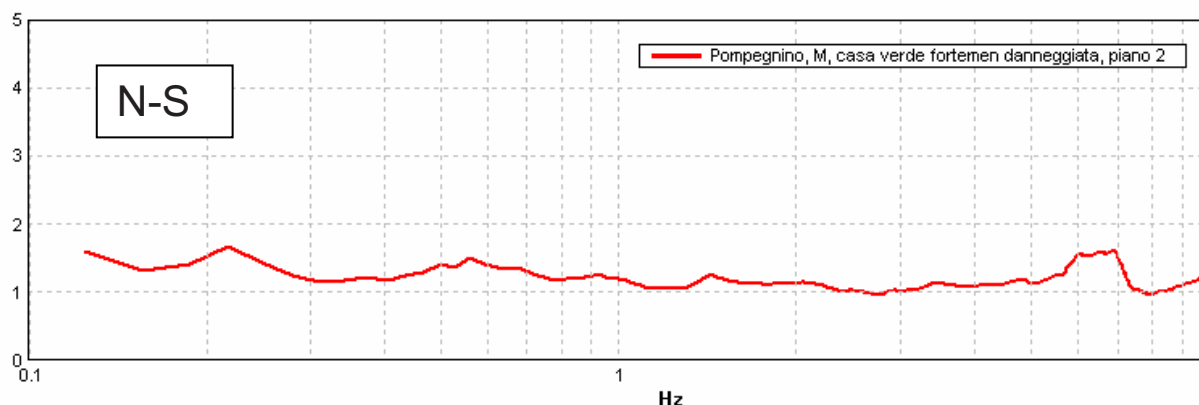


Figura 14. Rapporto tra le componenti del moto al piano 2 e le stesse componenti registrate, contemporaneamente, al piano 0.

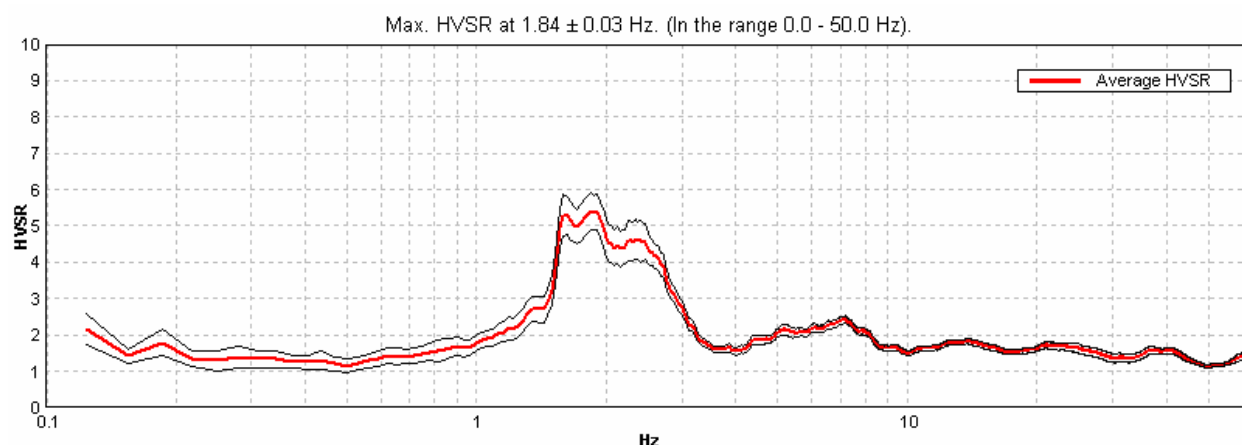
CASA ROSSA – SITO L, M

Queste misure sono state effettuate in una casa rossa confinante con la casa verde delle misure precedenti. A differenza della casa verde, la casa rossa era già stata completamente ristrutturata al momento dell'esecuzione delle misure.

In **Figura 15** osserviamo la curva H/V registrata immediatamente all'esterno della casa rossa in questione. Si nota una forte differenza di ampiezza negli spettri delle componenti N-S ed E-W, sicuramente imputabile al fatto che la misura è stata effettuata sul bordo della scarpata verticale della cava di sabbia confinante con la recinzione della proprietà.

Si tratta quindi di una differente amplificazione legata ad effetti topografico-morfologici.

Per il resto la misura di **Figura 15** è molto simile alla misura di **Figura 12**, a parte un picco a molto alta frequenza (40 Hz). Le due misure sono state effettuate a circa 15 m di distanza.



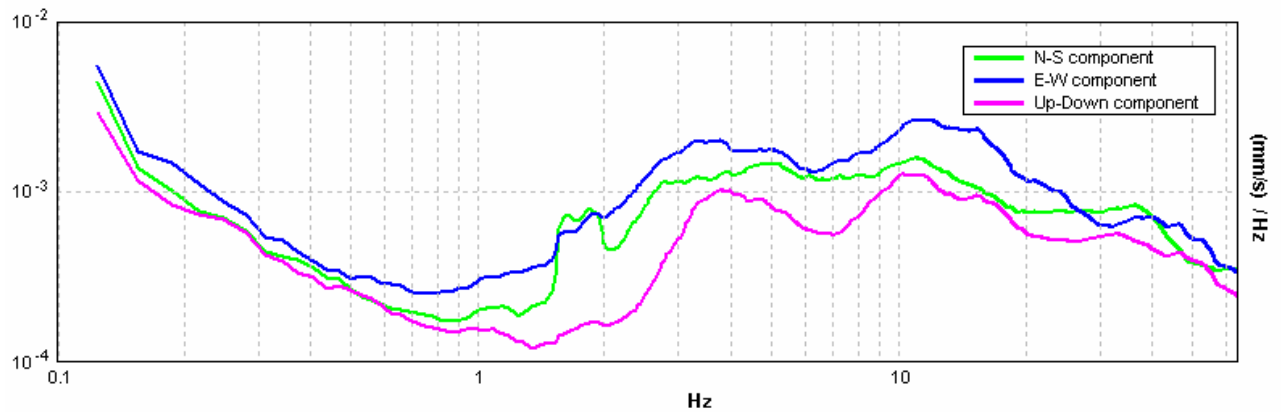


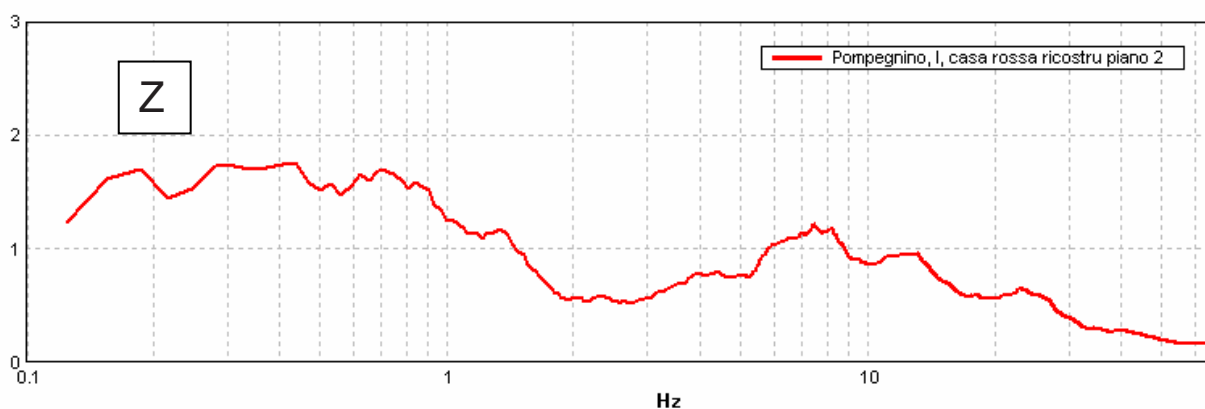
Figura 15. H/V e spettri in campo libero in prossimità dell'edificio.

Questa volta usiamo la misura effettuata in free-field come sito di riferimento e rapportiamo a questa gli spettri misurati al secondo piano della casa rossa, in modo simile a quanto fatto in **Figura 14**, al fine di mettere in evidenza le frequenze di risonanza proprie dell'edificio. Si evidenzia un rapporto della componente verticale prossimo a 1 in tutto il range di frequenze di interesse ingegneristico (0.1-1 Hz).

Si evidenzia un'amplificazione della componente E-W del moto al secondo piano pari a circa 2.5 volte rispetto al piano terra a 6 e 8 Hz (le misure ai due piani sono state effettuate in contemporanea, avendo noi a disposizione due strumenti).

Si evidenzia un'amplificazione della componente N-S del moto al secondo piano pari a 2 volte rispetto al piano terra a 9 Hz (le misure ai due piani sono state effettuate in contemporanea, avendo noi a disposizione due strumenti).

Facciamo notare che a 7 Hz esiste una risonanza del terreno (evidenziata bene dalla curva H/V di **Figura 12** e **Figura 15**) di chiara origine stratigrafica.



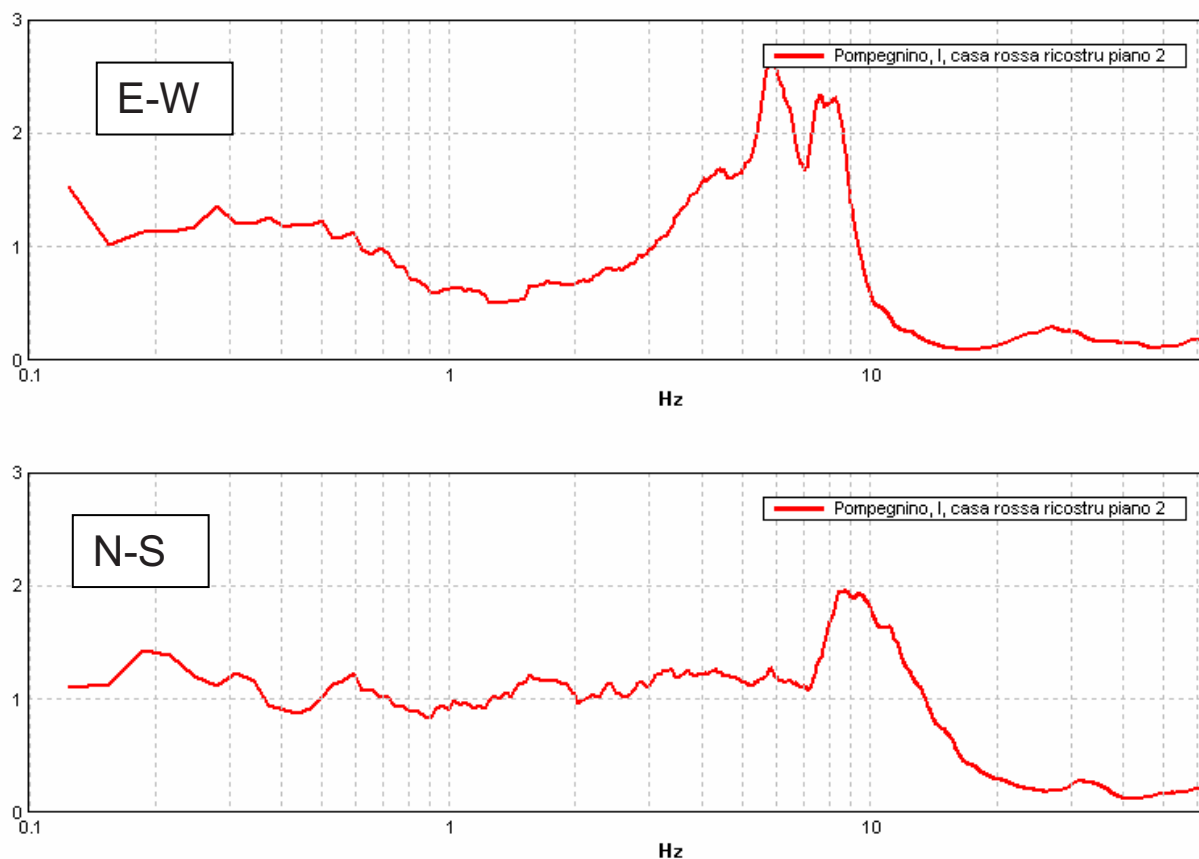


Figura 16. Rapporto tra le componenti del moto al piano 2 e le stesse componenti registrate, contemporaneamente, immediatamente all'esterno dell'edificio.

QUADRO RIASSUNTIVO DEI SITI DI MISURA

SABBIO CHIESE

- G)** misura su edificio (muretto finestra del primo piano). Santuario Maria della Rocca, fortemente danneggiato dal terremoto,
- H)** giardino del Santuario. Misura effettuata subito sotto il muretto di cinta, a ridosso della scarpata
- D)** misura sulla scalinata della Rocca (per cfr. con gruppo INGV).

POMPEGNINO

- J)** sul selciato della Chiesa fortemente danneggiata (per cfr. con gruppo INGV)
- K)** via per Vobarno 16, su detriti fluvio-glaciali
- L)** giardino casa, sul bordo della cava
- M)** in prossimità del cancello della casa di cui al sito F)
- N)** nel giardino in prossimità del tendone della Protezione Civile
- O)** all'interno della casa rossa (piano 2) restaurata, prossima alla cava di cui ai siti F) e G)
- O)** all'interno della casa verde (piano 0) fortemente danneggiata
- P)** all'interno della casa verde (piano 2) fortemente danneggiata

- Q) al tornante tra via dell'Asilo e via che torna alla chiesa
- V) via Chiese 19 (colloquio col sig. Gino che fu nei campi di concentramento)
- W)
- X)
- Y) al ciglio della scarpata
- Z) al bordo della cava
- AA) presso la casa dei signori che ci hanno offerto il cioccolato e che hanno percepito forte il terremoto
- O2) A Pompeggino, verso Roè
- P2) sotto il ponte ferroviario, verso il ruscello
- Q2) sotto la casa del sig. Gino (Lager)
- R2) **Qui, a S-E del paese, gli abitanti dicono che ci furono pochi danni. Più danni sembrano esserci stati a N-W**

MORGNAGA

- J) Nel giardino antistante il Municipio di Mornaga
- K) Nel piccolo parco giochi di fronte a via della Rosa
- L) Sul piazzale della chiesa in via della Chiesa (pavimento in sampietrini di riolite)
- M) Sulla soglia in cemento del cancello
- N) Nel giardino (ruspe al lavoro)
- O) Cancelli verde del maneggio (civico 55)
- P) Via dei Filippini
- Q) Cancelli della casa in vendita in via di Clune 4
- R) Via di Banale (cancelli nero prima della villa)
- O) Via Calvas
- P) Via di Clune in direzione Salò (parcheggio della villa gialla danneggiata)
- Q) Una prova con 3 tromini in parallelo nello stesso sito